Wissenschaft und Technik
im Islam

III

Veröffentlichungen des
Institutes für Geschichte der
Arabisch-Islamischen Wissenschaften

Herausgegeben von
Fuat Sezgin

Wissenschaft und Technik im Islam

III

2003
Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften
an der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

WISSENSCHAFT UND TECHNIK IM ISLAM

Band III

KATALOG DER INSTRUMENTENSAMMLUNG DES INSTITUTES FÜR GESCHICHTE DER ARABISCH-ISLAMISCHEN WISSENSCHAFTEN

von

Fuat Sezgin

in Zusammenarbeit mit

Eckhard Neubauer

2. GEOGRAPHIE

3. NAUTIK • 4. UHREN

5. GEOMETRIE • 6. OPTIK

2003

Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften

an der Johann Wolfgang Goethe-Universität

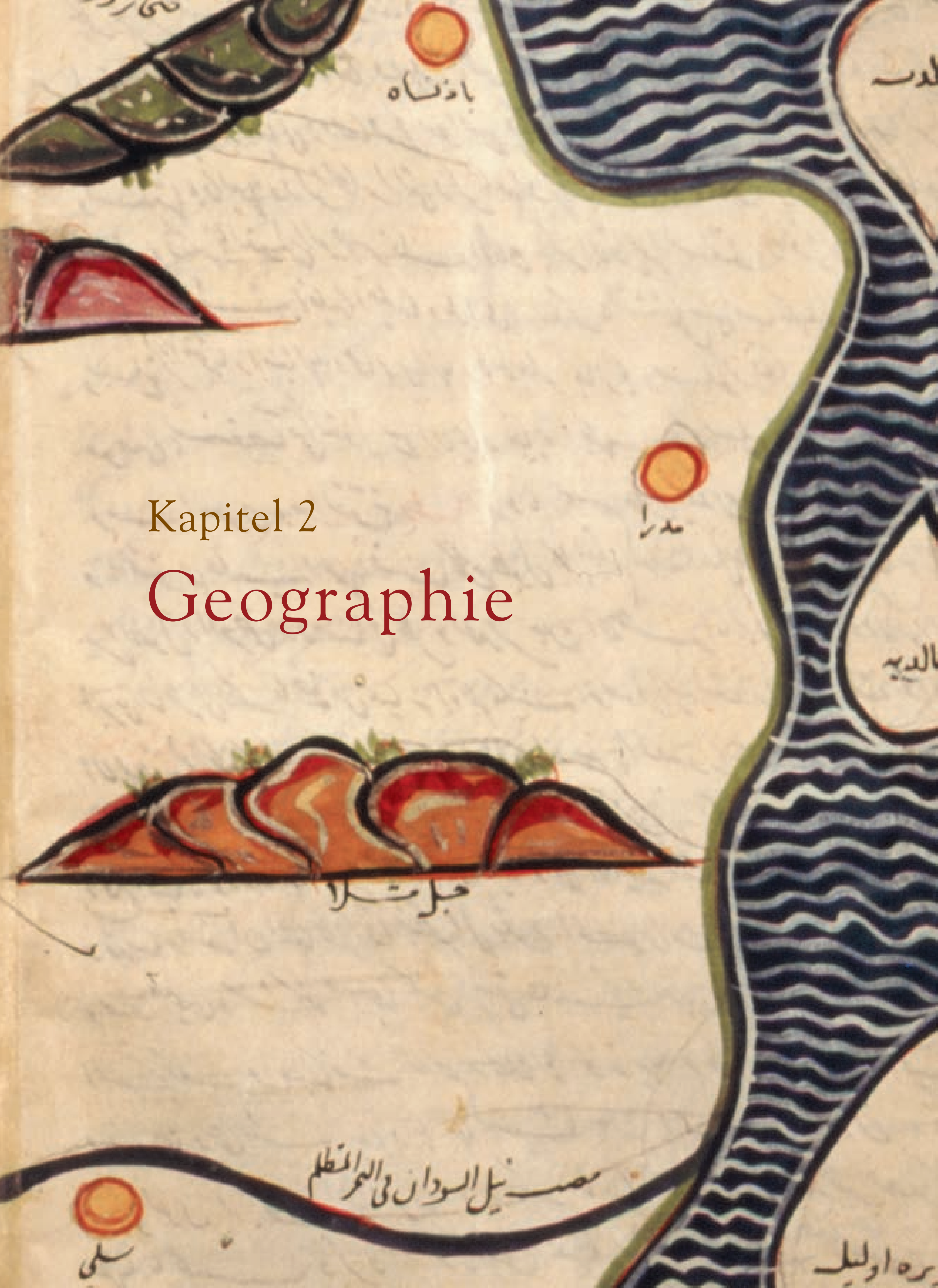
Frankfurt am Main

ISBN 3-8298-0072-X (Wissenschaft und Technik im Islam, Bd. I-V)
ISBN 3-8298-0069-X (Wissenschaft und Technik im Islam, Bd. III)

Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften
Westendstrasse 89, D-60325 Frankfurt am Main
www.uni-frankfurt.de/fb13/igaiw
Federal Republic of Germany

Printed in Germany by
Strauss Offsetdruck
D-69509 Mörlenbach

Inhaltsverzeichnis



Kapitel 2

Geographie

Die Wissenschaft gibt dir nichts von sich,
es sei denn, du gibst dich ihr ganz hin.
Doch auch, wenn du dich ihr ganz hingibst,
bleibt es ungewiß, ob sie dir etwas gibt.

An-Naẓẓām (gest. um 225/840)

Einleitung

Die Araber aus Zentralarabien, deren Kontakte zu anderen Ländern und Völkern sich vor dem Islam auf ihre nächsten Nachbarn der Arabischen Halbinsel, auf Persien, Byzanz, Ägypten und Äthiopien beschränkt hatten, fanden sich schon in der ersten Hälfte des ersten Jahrhunderts der Hiǧra (der Auswanderung des Propheten Muḥammad von Mekka nach Medina im Jahre 622) als Herrscher eines großen Teils der alten Welt wieder. Die Grenzen ihrer Herrschaft reichten bereits gegen Ende des ersten Jahrhunderts der neuen Zeitrechnung, d.h. in der zweiten Dekade des 8. Jahrhunderts n.Chr., bis zu den Pyrenäen. Im Zuge dieser Entwicklung blieb es nicht aus, daß sie die Topographie, die Sitten und Religionen, die Wirtschaft, Technik und Geschichte der eroberten Länder kennenlernten. Die ersten literarischen Produkte, die auf diesem Weg entstanden, trugen Titel wie *Fatḥ* («Eroberung») oder *Futūḥ* («Eroberungen») eines bestimmte Landes oder mehrerer Länder. Die frühesten Verfasser solcher Werke waren verständlicherweise konvertierte Gelehrte aus dem Mittelmeerraum.

Nicht ohne Beziehung zu topographischen Schilderungen in der altarabischen Dichtung setzte schon in der ersten Hälfte des 2./8. Jahrhunderts im Kreise der Philologen ein fieberhafter Sammeleifer von topographischen Daten Arabiens ein. Die daraus erwachsende und sich im Laufe der Jahrhunderte ständig steigernde literarische Produktion führte im 6./12. Jahrhundert schließlich zur Entstehung eines mehrbändigen geographischen Lexikons.

Um die Wende des 2./8. zum 3./9. Jahrhundert zeigt sich eine eigene Literaturgattung des arabisch-islamischen geographischen Schrifttums auf dem Gebiet der Anthropogeographie und der historischen Geographie. Diese Richtung war eigenständig in ihrer Entstehung und frühen Entwicklung und ging Jahrhunderte lang ihren eigenen Weg, unbeeinflußt von der mathematischen Geographie, die im ersten Viertel des 3./9. Jahrhunderts, nach Bekanntwerden der Geographie des Ptolemaios (um 180 n.Chr.) und der Weltkarte des Marinos (um 130 n.Chr.), im arabisch-islamischen Kulturraum entstanden war.

Die Anthropogeographie, die im Laufe der Zeit einen strenger deskriptiven Charakter annahm, erhielt zumindest im Zusammenhang mit der kartographischen Darstellung der Länder von Beginn des 4./10. Jahrhunderts an neue charakteristische Züge. Die Anordnung der Materialien war nun abhängig von Landkarten. Diese Karten wirken recht schablonenhaft, sie erhalten ihren Sinn und ihre Bedeutung erst durch die sie begleitenden Itinerarangaben. Diese Art der kartographischen Darstellung stand vermutlich mit einer vorislamischen geographischen Tradition des sasanidischen Persien in Beziehung.[1]

Der Naturphilosoph und Geograph Abū Zaid al-Balḫī (gest. 322/934) wird als Gründer dieser geographischen Schule betrachtet. Im Laufe des 4./10. Jahrhunderts brachten seine Nachfolger Aḥmad b. Muḥammad al-Ǧaihānī, Ibrāhīm b. Muḥammad al-Iṣṭaḫrī, Muḥammad b. ʿAlī Ibn Ḥauqal und Muḥammad b. Aḥmad al-Maqdisī (al-Muqaddasī) diesen Zweig der geographischen Literatur zu erstaunlicher Blüte. Ihren jüngsten Vertreter al-Maqdisī bezeichnete der Arabist Alois Sprenger[2], der eine der beiden erhaltenen Handschriften seines geographischen Buches in Indien entdeckt hatte, als den «größten Geographen, den es je gegeben hat». Es habe «vielleicht nie einen Mann gegeben, der so viel gereist und so scharf beobachtet, und zugleich das Gesammelte so planmäßig verarbeitet» habe. Durch die Werke der drei Erstgenannten, Abū Zaid al-Balḫī, al-Ǧaihānī und al-Iṣṭaḫrī, erfuhren die geographischen Kenntnisse über Persien und Zentralasien eine wesentliche Erweiterung. In den Werken der beiden jüngeren Geographen Ibn Ḥauqal und al-Maqdisī, die aus Syrien bzw. Palästina stammten, ist eine enorme Erweiterung der geographischen Kenntnisse über Sizilien, Spanien, Nord- und Nordostafrika erkennbar, die diese hauptsächlich auf Grund eigener Beobachtung und Erkundung auf mehrmaligen Reisen erworben haben.

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 10, S. 130.

[2] *Die Post- und Reiserouten des Orients*, Leipzig 1864 (Nachdr. Islamic Geography Bd. 112), Vorrede S. 18; F. Sezgin, a.a.O. Bd. 10, S. 346.

Als besonderes Charakteristikum von Ibn Ḥauqal hat die rezente Erforschung der arabischen Geographiegeschichte erkannt, daß in seinem ganzen Buch eine ihm eigene Verbindung räumlicher Zusammenhänge mit zeitlichen Abläufen zu erkennen ist.[3] Das von ihm dargebotene Material hat nicht nur aus geographiehistorischer, sondern auch aus kulturhistorischer Sicht einen besonderen Wert, nicht zuletzt dadurch, daß er deutlich über seine Vorgänger hinausgeht und uns auch Länder schildert, die er nicht in der Lage war, persönlich kennen zu lernen. Obwohl Ibn Ḥauqal zum Ziel hatte, die Geographie der islamischen Welt darzustellen, liefert er uns nicht wenige wertvolle Nachrichten auch über außerislamische Länder.

Was die geographiehistorische Bedeutung des jüngsten Vertreters dieser Schule, al-Maqdisī, betrifft, den A. Sprenger, wie bereits erwähnt, im Jahre 1864 als den schlechthin «größten Geographen» bezeichnet hatte, so ist sie in der zeitgenössischen Forschung insbesondere dank der unermüdlichen Tätigkeit von André Miquel[4] mustergültig zutage gefördert worden. Nach der Meinung von Miquel entstehe durch die Sorgfalt und die Gründlichkeit der Ausführungen von al-Maqdisī, zwar nicht unbeeinflußt durch die herkömmliche, in der arabischen Geographie verankerte Beziehung zwischen Mensch, Ort und Klima, aber vor allem durch seine erklärende und die Darstellung mit Leben erfüllende Art eine neue Anthropogeographie. Schon im Vorwort tue sich al-Maqdisī durch sein Programm hervor, das mit Recht, in der Weise, wie er es bis zum Ende seiner Darstellung verwirklichte, als Grundlage einer neuen, umfassenden Anthropogeographie gelten könne.

Dieses universale Verständnis von Anthropogeographie zeigt sich in den folgenden Jahrhunderten eher im persischsprachigen als im arabischen geographischen Schrifttum. Doch die präzise und detaillierte Schilderung des zivilisatorischen Lebens und der Natur, die sich in den Werken der Schule der Anthropogeographie entwickelt hatte, bewahrte über die Jahrhunderte hin in unzähligen Büchern zur Stadt- und Lokalgeographie ihre Gültigkeit.

Es ist zu bedauern, daß die Werke dieser Geographen den Europäern im Mittelalter völlig unbekannt geblieben sind. Freilich muß man von diesem Urteil die Iberische Halbinsel und Sizilien ausnehmen. Im Rahmen dieser Einschränkung haben wir von der eigenartigen Erscheinung der im Jahre 549/1154 vollendeten Weltkarte und dem umfangreichen geographischen Buch von Abū ʿAbdallāh Muḥammad b. Muḥammad aš-Šarīf al-Idrīsī zu sprechen.

Griechisch, arabisch und lateinisch besetzte Kanzlei am Normannenhof in Sizilien (Petrus de Ebulo, *Liber ad honorem Augusti sive de rebus Siculis. Codex 120 II der Burgerbibliothek Bern*, ed. Theo Kölzer und Marlis Stähli, Sigmaringen 1994, S. 59).

[3] s. André Miquel, *La géographie humaine du monde musulman jusqu'au milieu du 11e siècle*, Bd. 1, Paris 1967, S. 309.
[4] Ebd., Bd. 1, S. 324-328.

Nach arabischen Quellen war es «der Normannenkönig Roger II., der für seine große Sympathie für die Naturwissenschaften und die Philosophie bekannt war, der aš-Šarīf al-Idrīsī, den Verfasser der *Nuzhat al-muštāq*, aus Nordafrika zu sich kommen ließ» und ihn damit beauftragte, eine Weltkarte anzufertigen. al-Idrīsī verlangte das dafür notwendige Metall, und der König stellte ihm ausreichend Silber zur Verfügung.[5]
Der lange Aufenthalt al-Idrīsī's auf Sizilien, der wahrscheinlich von 1138 bis 1161 dauerte, d.h. über das Todesjahr Rogers II. hinaus, trug mindestens vier Früchte: 1. eine runde, gravierte Weltkarte aus Silber, 2. die in 70 Sektionen geteilte Weltkarte, 3. das *Kitāb Nuzhat al-muštāq fī ḫtirāq al-āfāq* und 4. das *Kitāb Uns al-muhağ wa-rauḍ al-farağ*. Die runde silberne Platte, die Tabula Rogeriana, wurde sechs Jahre nach Rogers Tod, im Jahre 1160, während eines Aufstandes unter seinem Nachfolger Wilhelm I. von den Aufständischen in Stücke geschlagen, die sie untereinander verteilten.[6] Wie al-Idrīsī[7] selbst sagt, war die Karte kreisförmig. Sie ist in mehreren Handschriften erhalten, wenn auch in ziemlich entstellter Form.
Die Bedeutung seiner Weltkarte, der Teilkarten und des Geographiebuches wird in heutigen Studien recht unterschiedlich beurteilt. Vor allem haben nur wenige Idrīsī-Forscher seine runde Weltkarte überhaupt zur Kenntnis genommen und für ihre Beurteilung in Betracht gezogen. In der Regel richten sie ihr Augenmerk auf die von Konrad Miller um 1928 auf Grund der 70 Teilkarten rekonstruierte rechteckige Weltkarte, auf der der Norden der bewohnten Erde gleich lang ist wie die Äquatorzone. Wir können Miller nicht dankbar genug sein für seine verdienstvollen Bemühungen um die Herausgabe der Karten und die Übersetzung der betreffenden Teile des Buches von al-Idrīsī. Leider wurde er jedoch zu der irrigen Ansicht geführt, die von al-Idrīsī geschaffene Karte sei nicht rund, sondern rechteckig gewesen. Folglich erklärte er die Angabe im Manuskript des Buches von al-Idrīsī, die Karte habe die Form eines Kreises (*dā'ira*) gehabt[8], für einen Irrtum des Kopisten[9]. Ich glaube, daß die Bedingungen (zu denen auch die Vorarbeiten von Miller gehören) heute günstiger sind, um auf der Grundlage der Teilkarten und des Buches von al-Idrīsī und unter Berücksichtigung der erhaltenen, stark deformierten Rundkarten den Versuch zu unternehmen, eine dem Original angenäherte Weltkarte zu rekonstruieren, vielleicht auch auf einer silbernen Platte.
Die Fragen nach den Quellen der Idrīsī-Karten und ihrer Stellung in der Kartographiegeschichte werden in heutigen Studien sehr unterschiedlich beantwortet. Im engen Rahmen dieser Einleitung kann ich in Kürze nur einige Ergebnisse referieren, zu denen ich während meiner Arbeit über die *Mathematische Geographie und Kartographie im Islam und ihr Fortleben im Abendland* (s. unten) gelangt bin.
Nach der Entdeckung der runden Weltkarte der Ma'mūngeographen (ca. 215/830 n.Chr.) ist es leicht nachzuweisen, daß al-Idrīsī im wesentlichen diese Karte seiner eigenen in Palermo angefertigten zugrunde gelegt hat. Er hat allerdings das Gradnetz seiner Vorlage durch irrtümlich äquidistant gezogene sieben Klimalinien ersetzt. Zu den auf der Idrīsī-Karte im Vergleich zu ihrer Vorgängerin erkennbaren Fortschritten gehört eine wesentlich verbesserte Form des Mittelmeeres und eine bessere Topographie von Europa. Noch wichtiger scheint mir, daß al-Idrīsī für viele Teile Asiens ein neues Bild und eine neue Topographie vermittelt. Erst nach der Entdeckung der Weltkarte der Ma'mūngeographen und der Feststellung, daß diese die Hauptquelle al-Idrīsī's war, wird dieses neue Element erkennbar. Zunächst haben die Ma'mūngeographen den äußersten Nordosten der Ökumene gegenüber der ptolemaiischen Vorstellung von einem zusammenhängenden Festland durch ihre Vorstellung von einer Begrenzung dieses Teils durch einen befahrbaren umfassenden Ozean grundsätzlich korrigiert. Auf al-Idrīsī's Weltkarte wird dann der Nordosten Asiens wesentlich verkleinert und gerundet und erhält die Form eines Sattels. Der auffallende Un-

[5] al-Ḫalīl b. Aibak aṣ-Ṣafadī, *al-Wāfī bi-l-wafayāt*, Bd. 14, Wiesbaden 1982, S. 105-106.
[6] s. K. Miller, *Mappae Arabicae*, Bd. 1, Stuttgart 1926 (Nachdr. Islamic Geography Bd. 240), S. 39.
[7] *Nuzhat al-muštāq*, a.a.O. S. 6.
[8] Ebd. S. 6.
[9] K. Miller, a.a.O. S. 38.

terschied der Idrīsī-Karte beschränkt sich jedoch nicht auf die Konfiguration, sondern gewinnt besondere Bedeutung durch die Erweiterung des hydrogeographischen Gehaltes und eine unterschiedliche Darstellung der orographischen Züge. Man findet auf dieser Karte eine Reihe von Binnenseen und Flüssen, die auf der Ma'mūnkarte fehlen. Erst vor wenigen Jahren wurde die Frage gestellt: Woher kommt die veränderte Konfiguration von Nord- und Nordostasien und die Neugestaltung Zentralasiens? Höchstwahrscheinlich geht alles auf eine bisher außer Acht gelassene kīmāk-türkische Quelle aus dem 5./11. oder 6./12. Jahrhundert zurück, die al-Idrīsī im Vorwort seines Buches nennt.[10]

Die tiefen Spuren, welche die Idrīsī-Karte auf in Europa entstandenen Karten hinterlassen hat, können wir von der Wende des 7./13. zum 8./14. Jahrhundert an verfolgen. Was den Textteil des Buches betrifft, der so viel Wertvolles über die europäischen Länder enthält wie kein anderes arabisches geographisches Werk, so scheint er in Europa bis zum Ende des 10./16. Jahrhunderts auf kein wesentliches Interesse gestoßen zu sein.

Nach diesen kurzen Ausführungen über al-Idrīsī's Werk sei noch die im arabisch-islamischen Kulturkreis gepflegte Reisegeographie erwähnt. Der frühe, seit dem 1./7. Jahrhundert bestehende rege Handel und Verkehr der islamischen Welt mit China auf dem Seeweg ist eine bekannte historische Tatsache.[11] Kontakte mit Indien und das Interesse an seiner Kultur und Wissenschaft waren so weit entwickelt, daß der ʿabbāsidische Kalif al-Manṣūr (reg. 136/754-158/775) einige indische Gelehrte nach Baġdād einlud und das bedeutendste astronomische Buch der Inder um 154/770 ins Arabische übersetzen ließ.[12] Es gehört auch zu den wichtigen kulturhistorischen Begebenheiten, daß der ʿabbāsidische Staatsmann Yaḥyā b. Ḫālid al-Barmakī (gest. 190/805), der sich sehr für Wissenschaft und Kultur interesssierte und indische Mediziner nach Baġdād kommen ließ, einen Gelehrten nach Indien schickte, damit dieser ein Buch über die Religion der Inder schreibe. Einige Fragmente aus diesem Buch sind glücklicherweise erhalten.[13] Es sollte uns daher nicht wundern, wenn wir von Reisebüchern arabisch-islamischer Gelehrter bereits aus dieser frühen Zeit hören. Der älteste uns bekannte arabische Reisende, von dem wir über die Beschreibung einer Reise nach China auf dem Landweg erfahren, hieß Tamīm b. Baḥr al-Muṭṭauwiʿī. Die erhaltenen Teile seines Berichtes ermöglichen es, die Reise in die Zeit zwischen 206/821 und 209/824 zu datieren.[14]

Aus der ersten Hälfte des 3./9. Jahrhunderts sind uns einige Berichte arabischer Reisender nach dem westlichen Zentralasien, nach Indien und nach Byzanz bekannt, die wir hier übergehen können.

Mit besonderem Interesse haben Arabisten den Reisebericht von Hārūn b. Yaḥyā (um 300/912) nach Konstantinopel und Rom[15] zur Kenntnis genommen, sowie die Berichte von Ibrāhīm b. Yaʿqūb (um 350/961) über die Slawen[16] und von Aḥmad Ibn Faḍlān (1. Hälfte 4./10. Jh.) über die Bulgaren nördlich des Kaspischen Meeres und die Russen[17]. Hier erfahren wir auch Historisches, Geographisches und Ethnisches über die Oġuztürken, die Normannen und das weit im Norden liegende «Wi sū» sowie das nördliche Eismeer. In zwei Berichten von Abū Dulaf[18] (1. Hälfte 4./10. Jh.) wird eine Reise durch Mā warāʾ an-nahr (Transoxanien) und Zentralasien und eine Reise durch Persien und den Kaukasus geschildert.

Weitere Reisende des 4./10. und des 5./11. Jahrhunderts außer Acht lassend erwähne ich ʿAlī b. al-Ḥusain al-Masʿūdī (gest. 345/956)[19] und Muḥammad b. Aḥmad al-Bīrūnī (gest. 440/1048)[20].

[10] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 10, S. 348-350.

[11] s. ebd. Bd. 10, S. 546.

[12] s. ebd. Bd. 6, S. 116-118.

[13] Ibn an-Nadīm, *Kitāb al-Fihrist*, ed. G. Flügel, Bd. 1, Leipzig 1872, S. 345 ff.

[14] Vladimir Minorsky, *Tamīm b. Baḥr's Journey to the Uyghurs*, in: Bulletin of the School of Oriental and African Studies (London) 12/1947-48/275-305.

[15] Studien darüber sind zusammengestellt in Islamic Geography Bd. 166, Frankfurt 1994.

[16] Studien darüber in Islamic Geography Bd. 159, Frankfurt 1994.

[17] Studien darüber in Islamic Geography Bd. 169, Frankfurt 1994.

[18] Ebd. Bd. 169.

[19] s. F. Sezgin, a.a.O., Bd. 1, S. 332-336; Bd. 6, S. 198-203; Bd. 7, S. 276-277.

[20] Ebd. Bd. 5, S. 375-383; Bd. 6, S. 261-276; Bd. 7, S. 188-192, 288-292.

Ersterer hat uns keinen Reisebericht im engeren Sinn hinterlassen, doch zahlreiche Werke naturphilosophischen, historischen und geographischen Inhalts, die er während eines ca. 30 Jahre währenden Wanderlebens verfaßt hat, in dem er die Welt aus eigener Erfahrung kennenlernen wollte. Wir wissen nicht, wie viele Länder er besucht hat, da viele seiner Werke verloren gegangen sind. Es scheint festzustehen, daß er sich von seiner Heimatstadt Baġdād aus nach Persien, Indien, Sansibar, Madagaskar, Arabien und Nordafrika begeben hat, doch wie oft er einzelne Länder besucht hat, ist unbekannt.
Was uns veranlaßt hat, al-Bīrūnī im Rahmen der Reiseliteratur zu erwähnen, ist sein Buch über Indien, das er auf der Grundlage vieler Reisen vor Ort und zahlreicher Kontakte mit der Bevölkerung über die Religionen, Wissenschaften und Sitten des Landes in einer für alle Zeiten als mustergültig geltenden Objektivität und Wahrheitsliebe geschrieben hat. Dieser große Universalgelehrte sagt in seiner Einleitung: «Dieses Buch ist nicht polemisch, sondern nur ein einfacher Tatsachenbericht. Ich werde die Theorien der Hindus entwickeln, wie sie sind, und werde in Verbindung damit ähnliche Theorien der Griechen nennen, um die Verwandtschaft zwischen beiden aufzuzeigen.» Hierzu bemerkt der Übersetzer dieser Passage Max Krause[21]: «Dieser Grundsatz wird gewissenhaft befolgt, mit peinlichster Genauigkeit werden die Lehren der Inder – soweit sie dem Verfasser aus mündlicher Tradition oder aus der Literatur bekannt waren, wiedergegeben. Er scheut sich auch nicht, ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß er über diesen oder jenen Punkt nichts oder nichts Sicheres habe in Erfahrung bringen können, wie er auch auf Differenzen zwischen den verschiedenen Berichten aufmerksam macht. Seine eigene Stellung dazu kommt höchstens am Schluß der einzelnen Abschnitte zur Geltung. Sein Buch soll nicht dem, der die Inder bekämpfen will, sondern dem, der sie und ihre Anschauungen kennen und würdigen lernen will, das Material an die Hand geben.»

Damit die Ausführungen über die Reisegeographie in dieser kurzen Übersicht über die Anthropogeographie nicht zu lang wird, begnüge ich mich an dieser Stelle mit dem Namen Muḥammad b. Aḥmad Ibn Ǧubair (gest. 614/1217)[22] aus Valencia, der seit 578/1183 von seiner Heimat aus drei Reisen unternommen hat, deren erste ihn bis Arabien führte. Die Beschreibung seiner Erlebnisse und Beobachtungen, die er anscheinend fast täglich schriftlich festhielt, gehört zu den interessantesten Dokumenten der arabischen Geographie. Seine Beobachtungen über Kunst, Kultur und Architektur, über Verwaltung und Ethnologie sind von großem Wert für die Geschichte der Anthropogeographie. Vor allem für die Geschichte und Kulturgeschichte Siziliens unter dem Normannenkönig Wilhelm II. hat der Reisebericht des Ibn Ǧubair die Bedeutung einer unersetzlichen Quelle.

Arabische Ärzte und Astronomen am Krankenbett von Wilhelm II. in Palermo (Petrus de Ebulo, *Liber ad honorem Augusti sive de rebus Siculis*, a.a.O. S. 43)

[21] *Al-Biruni. Ein iranischer Forscher des Mittelalters*, in: Der Islam (Berlin) 26/1942/1-15, bes. S. 13-14 (Nachdr. in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 36, Frankfurt 1998, S. 1-15, bes. S. 13-14).
[22] zu Studien über ihn s. Islamic Geography Bd. 172 und 173, Frankfurt 1994.

Ich übergehe weitere Namen und erwähne Abu l-ʿAbbās an-Nabātī aus Sevilla[23] (gest. 637/1240), in dessen «Reise nach dem Orient» (*ar-Riḥla al-mašriqīya*) die seit Abū Ḥanīfa ad-Dīnawarī (gest. um 282/895)[24] gepflegte Pflanzengeographie einen beachtlichen Stand erreicht hat.

Zum Abschluß der Reisegeographie sei Muḥammad b. Ibrāhīm Ibn Baṭṭūṭa aus Tanger (gest. 770/1369) genannt. Dieser Marokkaner verließ im Jahre 725/1325 mit einer unbezähmbaren Reiselust und einem unwiderstehlichen Drang, Fremdes kennenzulernen, im Alter von 22 Jahren seine Heimatstadt und wandte sich nach Osten. Nach Aufenthalten in Nordafrika, Ägypten, Arabien, Ostafrika bis Mosambik, Anatolien, Byzanz, Südrußland bis zum 55. Breitengrad an der Mündung der Kama in die Wolga, Zentralasien, Indien, auf der Malaiischen Halbinsel und in China mit Zwischenstationen, die er mehrfach wieder aufsuchte, beendete er nach nahezu 24 Jahren seine erste Reise. Mit seiner zweiten Reise nach Andalusien und einer dritten Reise nach Afrika verbrachte er insgesamt 27 Jahre im Ausland. Nach R. Hennig[25] kann Ibn Baṭṭūṭa «als der überhaupt größte Weltreisende gelten, den das Altertum und Mittelalter jemals hervorgebracht haben.» Er habe als «ein echter Forschungsreisender, der mit offenen Augen alle Eindrücke in sich aufnahm und verarbeitete und der uns erfreulicher Weise ein sehr eingehendes, ja, man darf sagen, dickleibiges Reisewerk hinterlassen hat, eine erdkundliche Fundgrube von hohem Rang.» Ibn Baṭṭūṭa habe «wohl dreimal so viele fremde Länder zu Gesicht bekommen wie Marco Polo.»[26]

Die arabistische Erforschung der Anthropogeographie und ihrer Nebenzweige historische Geographie, Stadt- und Lokalgeographie sowie Reisegeographie hat bereits vor zweihundert Jahren eingesetzt. Die Arabisten haben die Bedeutung der im arabisch-islamischen Kulturkreis auf diesem Gebiet erbrachten Leistungen im Vergleich zu anderen Gebieten wesentlich besser zutage fördern können. Die meisten ihrer diesbezüglichen Studien, Übersetzungen und Texteditionen hat das Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften an der Frankfurter Universität in seiner Publikationsreihe Islamic Geography gesammelt und in 278 Bänden herausgegeben. Insgesamt fällt dabei auf, daß die mathematische Geographie in der Forschung zu kurz gekommen ist und daß die große Leistung des arabisch-islamischen Kulturraumes auf dem Gebiet der auf mathematisch-astronomischer Basis entwickelten Kartographie fast unbekannt geblieben ist. Dazu fehlte den Forschern das notwendige Kartenmaterial. Der Schreiber dieser Übersicht wurde durch glückliche Umstände, wie die Entdeckung der Weltkarte und der Teilkarten der Maʾmūngeographen, dazu geführt, einen Versuch zu unternehmen, diese Lücke auszufüllen. Er hat die Ergebnisse seiner Arbeit, die etwa fünfzehn Jahre in Anspruch genommen hat, in drei Bänden unter dem Titel *Mathematische Geographie und Kartographie im Islam und ihr Fortleben im Abendland* (Frankfurt, 2000) der Fachwelt zur Diskussion gestellt. Eine für ein allgemeineres Publikum gedachte Übersicht über einige der Resultate des Buches, die in der Zeitschrift *Forschung Frankfurt* (Heft 4, 2000) erschienen ist, sei hier dem Benutzer des Kataloges zugänglich gemacht:

[23] s. I. Kračkovskij, *Istoria arabskoi geografičeskoi literaturi*, Moskau 1957, S. 345.

[24] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 4, S. 338-343.

[25] *Terrae incognitae*, Bd. 3, Leiden 1953, S. 213.

[26] Ebd. S. 213; zu Studien über Ibn Baṭṭūṭa s. Islamic Geography Bd. 175-183, Frankfurt 1994.

Arabischer Ursprung europäischer Karten

Abb. 1: Die im Auftrag des Kalifen al-Ma'mūn im ersten Drittel des 9. Jahrhunderts geschaffene Weltkarte in einer Kopie aus dem Jahre 1340. Das Besondere daran ist, neben ihrer globularen Projektion, ein die Erdteile umschließender Ozean, der Afrika als umfahrbar erscheinen läßt und den Indischen Ozean, im Gegensatz zur ptolemaiischen Darstellung als Binnenmeer, als offenes Meer zeigt.

Das kartographische Bild der Erdoberfläche, das wir im 20. Jahrhundert vorgefunden haben, dürfte weitestgehende Exaktheit erreicht haben. Sein Wirklichkeitsgrad wurde jedoch noch nicht nachgeprüft. Erst jetzt wird es durch die sich parallel zum heutigen Weltbild entwickelnden Wissenschaften, namentlich durch die dank der Raumfahrttechnik ermöglichten Beobachtungen und Messungen, möglich sein, diese noch ausstehende Arbeit zu bewerkstelligen. Auch wenn uns Korrekturen nicht erspart bleiben, so werden sie doch die allgemeine Genauigkeit des bisherigen Bildes, dieses gemeinsamen Erbes der Menschheit, nicht erschüttern. Den Vorzug dieser Erfahrung hatten unsere Vorgänger in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts noch nicht.

Die Aufgabe der noch jungen Disziplin Historiographie der Kartenkunst, die einzelnen Stufen der Entwicklung und die von unterschiedlichen Kulturkreisen geleisteten Beiträge einigermaßen der Wirklichkeit entsprechend darzustellen, ist ungemein schwierig. Wann und wo der erste Versuch unternommen wurde, einen Teil der Erdoberfläche von Menschenhand abzubilden, wird sicherlich für immer verborgen bleiben. Versuche der Babylonier und der alten Ägypter, ihre Vorstellung von der bewohnten Erde zu skizzieren, sind uns zum Glück bekannt. Auch ist bekannt, daß schon um das Jahr 530 v.Chr. der Karthager Hanno von seiner Heimatstadt aus bis in den inneren Golf von Guinea, etwa bis zum Äquator, vordringen konnte. Herodot erzählt von einer phönizischen Umsegelung Afrikas im Auftrag des Pharaos Necho (etwa 596-584 v.Chr.). Dieser Herrscher soll seinen Seefahrern den Befehl erteilt haben, vom Roten Meer aus südlich den Küsten entlang so weit zu segeln, bis sie die Säulen des Herakles kreuzen und durch das Mittelmeer nach Ägypten zurückkehren würden. Sie sollen den Auftrag innerhalb von drei Jahren ausgeführt haben.

Die ersten Ansätze der mathematischen Geographie bei den Griechen

Mit der Annahme der Kugelform der Erde im 5. und 4. Jahrhundert v.Chr., dem ersten Versuch der Erdmessung im 3. Jahrhundert v.Chr. und der Übertragung der babylonischen Einteilung des Sternenhimmels in 360° im Großkreis auf die Erde, schufen die Griechen die Grundlagen für ein mathematisches Erfassen der bekannten Erdoberfläche. Hinzu kam die Vorstellung von Längengraden im Sinne der Zeitdifferenz zwischen Orten durch gleichzeitige Beobachtung von Mondfinsternissen und der für die Ortsbestimmung grundlegende Satz von der Gleichheit der geographischen Breite eines Ortes und der Polhöhe.
Eine mathematisch-astronomisch fundierte Karte zu zeichnen, fand Hipparchos, einer der größten Astronomen der Griechen, im dritten Viertel des 2. Jahrhunderts v.Chr. noch undurchführbar. Er sah die bis zu seiner Zeit erreichten kartographischen Leistungen der Geographie als verfrüht und verfehlt an und empfahl Geduld und die Sammlung ausreichend genauer Ortsbestimmungen. Der Entwurf einer Karte sei eine Aufgabe für die Zukunft, die erst nach einer von zahlreichen Gelehrten in verschiedenen Ländern geleisteten Vorarbeit erfüllt werden könne. Mit Sicherheit stand den Griechen eine Längendifferenz zur Verfügung: Sie war nach dem Verfahren der Beobachtung von Mondfinsternissen im Jahre 331 v.Chr. zwischen Karthago und Arbela ermittelt worden und circa 11° zu groß.
Im Laufe der Zeit gewonnene Breitengrade, bei Schiffahrten und vom römischen Heer vorgenommene Messungen zurückgelegter Strecken und anderweitig gewonnene Angaben in Routenbüchern führten in der ersten Hälfte des 2. Jahrhunderts n.Chr. zur Gestaltung einer Karte der bewohnten Welt in orthogonaler Projektion. Ihr Schöpfer hieß Marinos von Tyros. Zu Spuren seiner längst verlorenen Karte führt uns sein jüngerer Zeitgenosse Ptolemaios. Allem Anschein nach war diese Karte und ihr Begleittext die alleinige Grundlage der ptolemaiischen Geographie. Wie wir erfahren, hatte Marinos der Karte der bewohnten Welt ein Gradnetz zugrunde gelegt, dessen Länge 225° betrug, also um etwa 80° bis 90° zu groß war. Sein Nachfolger Ptolemaios fühlte sich dazu berufen, an Hand der Daten und Gradangaben, die er dieser Karte der bewohnten Welt (vielleicht auch den beigefügten Teilkarten) und dem Begleittext entnommen hatte, ein Werk zusammenzustellen, das späteren Generationen zum Entwurf neuer Auflagen der Karte dienen sollte. Bei der Bearbeitung der

Abb. 3: Weltkarte aus der *Geographie* des Ptolemaios in einer Handschrift aus der 1. Hälfte des 14. Jahrhunderts, rekonstruiert von dem byzantinischen Gelehrten Maximos Planudes. Im Gegensatz zur Ma'mūn-Geographie (*Abb. 1* und *2*) werden hier noch der Indische Ozean und der nördliche Atlantik als Binnenmeere dargestellt.

Daten seines Vorgängers gewann er die Einsicht, daß die Streckenangaben, vor allem die ost-westlichen im Sinne der Längengrade, zu groß geraten sind. Er hat daher die Asien betreffenden Teile systematisch proportional verkleinert. Unter Beibehaltung der Länge der großen Achse des Mittelmeeres von 63° (circa 21° zu groß) hat er die Länge der bewohnten Welt auf 180° (immer noch circa 40° zu groß) reduziert. Allem Anschein nach hat Ptolemaios seinem Werk keine Karte beigefügt. Es erstaunt, daß sein Text das Bild eines zusammenhängenden Festlandes vermittelt, in dem der nördliche Atlantik und der Indische Ozean als Binnenmeere erscheinen.

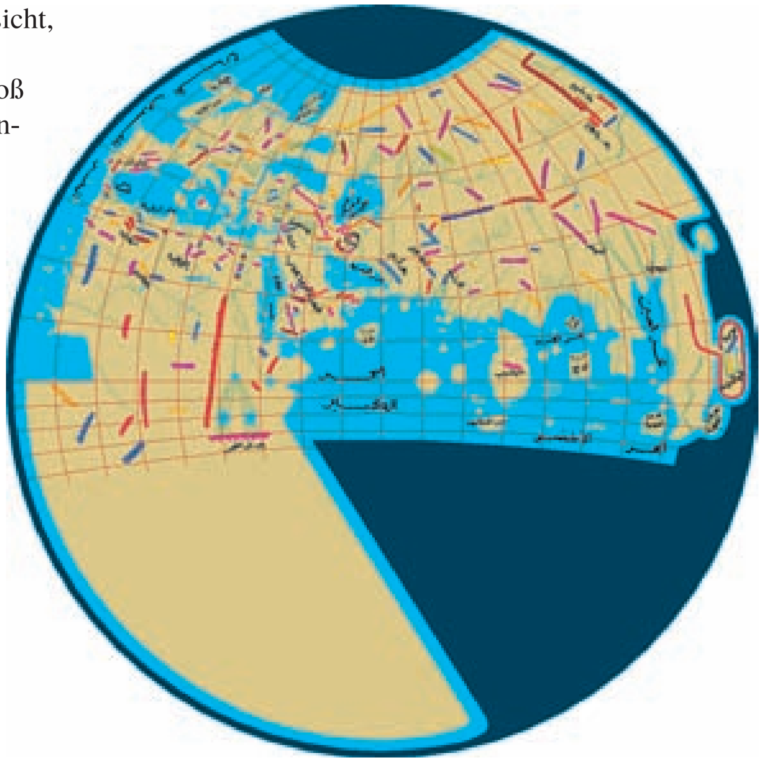


Abb. 2: Rekonstruktion der Weltkarte des Kalifen al-Ma'mūn nach den Daten des erhaltenen Koordinatenbuches eines der Ma'mūn-Geographen. Ein Vergleich mit der erhaltenen Karte (*Abb. 1*) zeigt, daß sie im Wesentlichen identisch sind und daß darüber hinaus die Rekonstruktion in mehreren Einzelheiten eine genauere Vorstellung vom verlorenen Original vermittelt als die durch mehrfaches Kopieren veränderte erhaltene Fassung.

Die älteste bekannte Weltkarte mit einer globularen Projektion

Die kartographische Leistung des Marinos und die Geographie des Ptolemaios erreichten den arabisch-islamischen Kulturkreis zu Beginn des 9. Jahrhunderts, zu einer Zeit, als sich dieser nicht nur vom Atlantik bis nach Indien erstreckte, sondern in der auch seine Angehörigen bei der Aneignung der von anderen Kulturvölkern übernommenen Wissenschaften bereits an der Schwelle ihrer Kreativitätsperiode standen. Der Kalif al-Ma'mūn, der alle Gebiete der Wissenschaften seiner Zeit förderte, erteilte einer großen Gruppe von Gelehrten den Auftrag, eine neue «Geographie» und eine Weltkarte zu schaffen. Daß sich jene Gelehrten bei ihrer Aufgabe in erster Linie an die Leistungen ihrer griechischen Lehrmeister anzuschließen hatten, versteht sich von selbst.

Von dem als Ergebnis dieses Auftrages geschaffenen Atlas und dem begleitenden geographischen Werk sind zum Glück einige Teile erhalten. Aus der Sicht der Geschichte der mathematischen Geographie und Kartographie ist von hervorragender Bedeutung, daß die Weltkarte der Ma'mūn-Geographen in einer Kopie aus dem Jahre 1340 in den achtziger Jahren des 20. Jahrhunderts wieder ans Tageslicht gekommen ist. Sie ist sicherlich eine durch mehrmaliges Abzeichnen ziemlich deformierte Kopie eines einst prachtvollen Originals (*Abb. 1*). Doch erweist sie sich dank einer erhaltenen Tabelle mit Koordinaten, die gleichzeitig aus der originalen Karte ausgezogen worden waren, als einmaliges kartographisches Monument: Sie trägt eine globulare Projektion. Sie zeigt eine um 15°-20° reduzierte westöstliche Ausdehnung der bewohnten Welt, gleichzeitig eine um 10° reduzierte Längsachse des Mittelmeers. Von großer Bedeutung ist ferner, daß die marinisch-ptolemaiische Vorstellung von einem zusammenhängenden Festland einer neuen Darstellung gewichen ist. Danach wird die bewohnte Welt von einem «Umfassenden Ozean» umschlossen, den seinerseits ein «Finsterer Ozean» umgibt. Der Atlantik und der Indische Ozean sind nicht mehr Binnenseen, sondern gehören zu den Teilen des Umfassenden Ozeans (*Abb. 2*).

Die Bemühungen der Griechen um eine genaue kartographische Darstellung der Erdoberfläche und

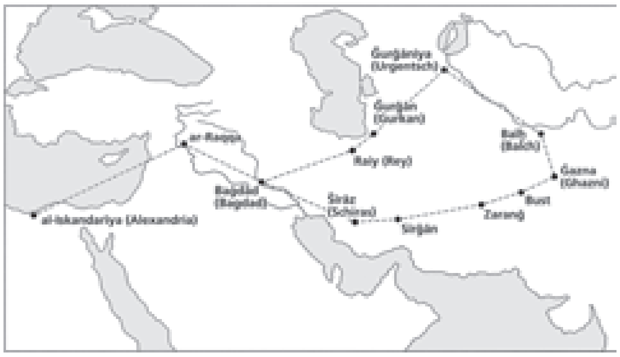


Abb. 4: Schematische Darstellung der von al-Bīrūnī im ersten Viertel des 11. Jahrhunderts vermessenen Strecken und astronomisch ermittelten Breiten zur Berechnung der Längengrade von circa 60 Orten zwischen Bagdad und Ghazna.

die zu diesem Zweck verwendeten mathematisch-astronomischen Hilfsmittel, die bei Marinos und Ptolemaios (*Abb. 3*) ihren Höhepunkt erreicht hatten und gleichzeitig an die Grenze ihrer Entwicklungsmöglichkeiten im eigenen Kulturkreis gestoßen waren, gelangten mit der Arbeit der Geographen des Kalifen al-Ma'mūn in eine neue Periode der Evolution, deren jüngste Stufe wir in unserer Zeit miterleben. Die Erscheinungen einer ununterbrochen fortlaufenden Entwicklung, die sich mir erschlossen haben, habe ich in meinem kürzlich erschienenen Buch *Mathematische Geographie und Kartographie im Islam und ihr Fortleben im Abendland* (Band X-XII meiner *Geschichte des arabischen Schrifttums*) der Fachwelt zu vermitteln versucht. Auf einige der mir wesentlich erscheinenden Punkte dieses Entwicklungsganges möchte ich im folgenden hinweisen.

Ausbau der mathematischen Geographie zu einer selbständigen Disziplin

Die in der islamischen Welt intensiv und mit wissenschaftlicher Akribie betriebene geographische Ortsbestimmung führte im ersten Viertel des 11. Jahrhunderts zum Ausbau der mathematischen Geographie als selbständige Disziplin. Dieses Verdienst gebührt al-Bīrūnī, einem der bedeutendsten Gelehrten des arabisch-islamischen Kulturkreises. Er unternahm den in der Geographiegeschichte einmaligen Versuch, die Längen- und Breitengrade der zwischen Ghazna (im heutigen Afghanistan) und Bagdad liegenden wichtigen Orte (in einem Umkreis von 2 mal circa 2000 km) auf der Basis astronomischer Beobachtung, Vermessung von Strecken und der Anwendung der Regeln der sphärischen Trigonometrie zu bestimmen (*Abb. 4*). Die an den heutigen Werten gemessenen Fehler der von ihm erzielten Längenangaben von etwa 60 Orten liegen zwischen nur 6 und 40 Minuten. Seine Daten wurden zur Grundlage einer im östlichen Teil der islamischen Welt jahrhundertelang kontinuierlich durchgeführten Ortsbestimmung.
Die im westlich von Bagdad liegenden Teil der islamischen Welt geleisteten weiteren Korrekturen an den Längengraden führten schon in der ersten Hälfte des 11. Jahrhunderts zur Reduzierung der westöstlichen Achse des Mittelmeeres auf 44° bis 45° (heute 42°) und als Folge davon zu einer Verlegung des Nullmeridians in den Atlantik bei 17° 30' westlich der Kanarischen Inseln bzw. 28°30' westlich von Toledo.

Die ersten arabischen Karten in Europa

Es sind einige arabische und europäische Karten erhalten, die uns die von der Ma'mūn-Geographie ausgegangene Nachwirkung verraten. Dazu gehören die Welt- und Teilkarten des Geographen al-Idrīsī (*Abb. 5*) aus dem Jahre 1154. Die Karten und das geographische Werk dieses aus Ceuta stammenden Adligen, die er in Sizilien im Auftrag des Normannenkönigs Roger II. geschaffen hat, zeigen eine weitgehende Anlehnung an die Karten der Ma'mūn-Geographen, aber auch eine nicht unwesentliche Erweiterung und Verbesserung in Bezug auf das Mittelmeer sowie insbesondere auf Nordost-, Ost- und Zentralasien. Es ist eine in der Kartographiegeschichte nicht gebührend berücksichtigte Tatsache, daß im südwesteuropäischen Raum um 1265 eine Weltkarte entstanden ist, die sich mit den zeitgenössischen europäischen kartographischen Darstellungen überhaupt nicht im Einklang befindet, sondern eine erstaunliche Ähnlichkeit mit den Weltkarten der Ma'mūn-Geographen und al-Idrīsī's aufweist (*Abb. 6*).

Abb. 5: Weltkarte von al-Idrīsī (verfaßt 1154), Kopie von 1500. Die Karte geht im Großen und Ganzen auf die Ma'mūn-Karte (*Abb. 1* und *2*) zurück. Auffallend ist die wesentlich verbesserte Darstellung Nord- und Nordostasiens, die auf die späteren europäischen Asienkarten jahrhundertelang bestimmend gewirkt hat.

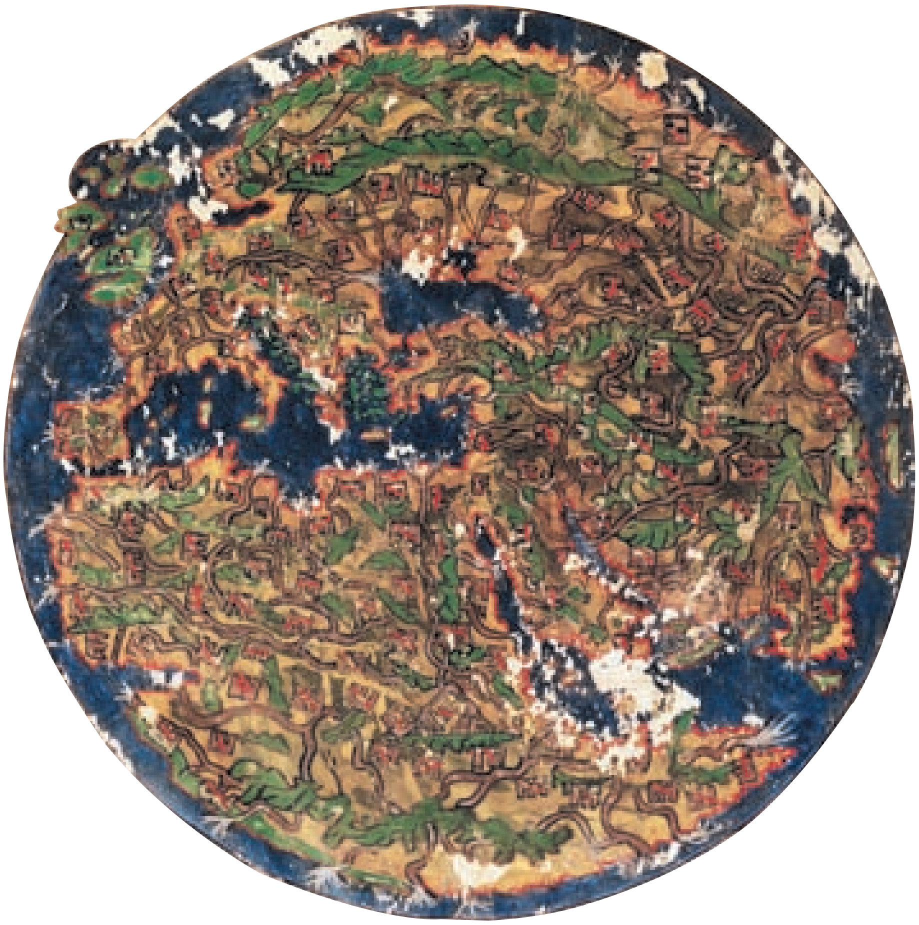


Abb. 6: Die älteste bekannte europäische Imitation der Weltkarten der Ma'mūn-Geographen (*Abb. 1* und *2*) und al-Idrīsī's (*Abb. 5*), erhalten in dem enzyklopädischen Werk *Tresor* von Brunetto Latini (um 1265), wobei zwischen dem Text des Buches und der Karte als exotischem Fremdkörper keinerlei Beziehung besteht.

Abb. 7: Weltkarte von Marino Sanuto – Petrus Vesconte (um 1320), eine in den Grundzügen und in Details deutlich erkennbare Imitation der Weltkarte von al-Idrīsī (*Abb. 5*).

Etwa ein Dritteljahrhundert danach, um die Wende des 13. zum 14. Jahrhundert, trat eine Reihe von Karten zutage, die die Formen von Mittelmeer und Schwarzem Meer fast korrekt wiedergeben. Sie wurden, nicht ganz zutreffend, von Kartographiehistorikern Portolankarten genannt. Die Frage ihrer Entstehung wird seit etwa 150 Jahren diskutiert. Nach einigen Gelehrten sollen sie plötzlich entstanden sein; ihre Urheber seien europäische Seefahrer gewesen. Einige weitere Kartographiehistoriker bringen sie mit verschiedenen älteren Kulturkreisen in Verbindung. Joachim Lelewel (um 1850), der erste oder einer der ersten Gelehrten, die die Entstehungsfrage jener Karten diskutiert haben, war beim damaligen primitiven Stand der Kenntnis über die arabische Geographie davon überzeugt, daß jene Karten von der Karte und dem geographischen Werk al-Idrīsī's abhängen (*Abb. 7*).

Entstehung eines neuen Kartentyps in Europa

Eine umfassende Behandlung dieser Frage im Lichte der Geschichte der mathematischen Geographie und Kartographie des arabisch-islamischen Kulturkreises zeigt, daß nicht nur jene sogenannten Portolankarten, sondern auch die europäischen Welt- und Teilkarten, die kurz danach zu erscheinen begannen, bis ins 18. Jahrhundert hinein direkt oder indirekt mit Vorlagen aus dem arabisch-islamischen Kulturkreis zu tun haben. In der kartographiehistorischen Forschung wurde sowohl die Entstehung der sogenannten Portolankarten, als auch die im Laufe der folgenden Zeit auf den Welt- und Teilkarten erscheinenden Darstellungen von Asien und Afrika, statt in einem großen Zusammenhang, immer nur isoliert für sich, als einzelne Fragen, und in fast totaler Unkenntnis der mathematischen Geographie und Kartographie des arabisch-islamischen Kulturkreises behandelt. Während die Frage der Entstehung der Portolankarten als ungelöstes Rätsel betrachtet wird, erklärt man die auf den Welt- und Teilkarten zum ersten Mal auftretenden bedeutenden neuen Teile der bewohnten Welt und deren topographische Elemente als Leistungen europäischer Kartenmacher, die sie dank Erkundungen von Reisenden und ihrer Reiseberichte erbracht hätten. Nach dieser Vorstellung soll beispielsweise ein in Venedig, in Genua oder auf Mallorca ansässiger Kartenmacher in der Lage

Abb. 8: Pseudo-ptolemaiische Weltkarte aus Ptolemaios *Geographie*, Straßburg 1513. Afrika erscheint in nahezu perfekter Form, wogegen Südoastasien sehr altertümlich dargestellt ist und an die Ma'mūn-Geographie (*Abb. 1* und *2*) erinnert. Beides ist mit dem ptolemaiischen Weltbild nicht zu vereinbaren.

gewesen sein, die fast perfekten Konfigurationen des Kaspischen Meeres, der Indischen Halbinsel oder auch eines relativ kleinen Sees wie des Urmiasees nur auf Grund von Reiseberichten oder Erkundungen von Reisenden zu zeichnen. Schreibt man damit einem Kartenmacher nicht eine übermenschliche Fähigkeit zu, erwartet man von ihm nicht eine Leistung, die er gar nicht erbringen konnte? Wäre es nicht akzeptabler und logischer daran zu denken, daß diesem oder jenem Kartenmacher eine Karte in die Hand gekommen ist, die vor Ort entstanden ist und die dort nur im Verlaufe von Jahrhunderten als Resultat der Arbeit mehrerer Generationen geschaffen werden konnte?

Einfluß der ptolemaiischen Geographie auf die Kartographie in Europa

Im letzten Viertel des 15. Jahrhunderts kam durch den Druck der lateinischen Übersetzung der ptolemaiischen Geographie eine neue Strömung in die europäische Kartographie. Es gelangten zahlreiche Karten unter dem latinisierten Namen Ptolemäus in Umlauf, die mit dem Inhalt seiner Geographie nicht in vollem Einklang standen (*Abb. 8*). Diese und sich daran anlehnende Weltkarten, die im Laufe von etwa 50 Jahren entstanden, waren von Gradnetzen überzogen, auf denen die Länge des Mittelmeeres beispielsweise 63° betrug und die Südspitze der Indischen Halbinsel bei 125° lag. Während sich dieses «ptolemäische» Gradnetz auf einigen Weltkarten bis zur Mitte des 16. Jahrhunderts und noch einige Jahre danach halten konnte, mußte es auf den meisten Weltkarten seit circa 1510 bei den erwähnten Dimensionen dem Gradnetz der

Abb. 9: Asienkarte von Abraham Ortelius (Antwerpen 1567), als neue Redaktion der Gastaldi-Karte veröffentlicht. In der rechten unteren Ecke merkt Ortelius an, Gastaldi habe diese Karte in arabischer Tradition ausgeführt.

maʾmūnischen Weltkarte weichen, worin die Länge des Mittelmeeres 52° oder 53° und der Längengrad der Südspitze Indiens 115° betrug.

Bruch mit der ptolemaiischen Geographie

Eine schlagartige Wirkung hatte die in den Jahren 1560 und 1561 von Giacomo Gastaldi vorgelegte dreiteilige Asienkarte und seine neue Weltkarte. Dieser italienische Ingenieur und Kartograph, der sich etwa 30 Jahre lang dem Zeichnen «ptolemäischer» Karten gewidmet hatte, veröffentlichte nun Karten völlig anderen Charakters, mit unterschiedlichem Gradnetz, anderen Konfigurationen, neuer Topographie und Toponomie. Wie und woher kam er dazu? Er selbst hat sich dazu nicht geäußert. Einige Jahre später veröffentlichten seine beiden Fachkollegen Abraham Ortelius (*Abb. 9*) und Gerard Mercator, die renommiertesten Kartographen der Zeit, Gastaldis Asienkarte mit gewissen Änderungen bzw. Erweiterungen in eigenen Redaktionen. Welche Kriterien hatten sie dafür anzunehmen, daß die Karte richtig war oder richtiger als die anderen? Woher stammten Gastaldis Koordinaten? Ortelius glaubte, hinter das Geheimnis gekommen zu sein. Er vermerkte auf der rechten unteren Ecke seiner Karte: «Hiermit bieten wir den geneigten Lesern eine neue Darstellung Asiens, die Jacobus Gastaldus, ein um die Geographie hoch verdienter Mann, gemäß der Tradition des arabischen Kosmographen Abu l-Fidāʾ angefertigt hat.» Hiermit meinte Ortelius das Buch der vergleichenden Koordinatentabellen des arabischen Geographen Abu l-Fidāʾ (gest. 1331), von dem der französische Orientalist Guillaume Postel im Jahre 1524 eine Handschrift von Istanbul nach Frankreich gebracht hatte. Das Buch beinhaltete zwar in der islami-

schen Welt längst veraltete, durch korrektere Werte ersetzte Koordinaten, in Europa jedoch wurde der Verfasser in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts als neuer Ptolemaios gefeiert, die Bekanntschaft mit seinem Buch in den Worten «venit divinamente in luce …» oder «coming divinely to light in our time» zum Ausdruck gebracht.
In Wirklichkeit hätten weder die Koordinaten des Buches von Abu l-Fidāʾ ausgereicht, die Konfiguration der Gastaldikarte zu entwerfen, noch befand sich die Karte im Einklang mit den Angaben des Buches. Nach meiner Meinung müssen Gastaldi eine Übersichtskarte oder einige Teilkarten aus dem arabisch-islamischen Kulturkreis als Vorlage gedient haben. Wie sachgemäß er jene verwendet hat, ist eine Frage für sich. Nicht nur die unrichtige Erklärung, die Ortelius für die Entstehung der Gastaldikarte gegeben hat, erlaubt die Schlußfolgerung, daß jene Geographen, die die führenden Vertreter des Faches zu ihrer Zeit in Europa waren, sich nicht darüber im klaren waren, wie ihre Vorlagen entstanden sind und woher sie stammten, abgesehen davon, daß sie nicht wußten, besser gesagt, nicht hätten wissen können, welche der ihnen bekannten Vorlagen der Wirklichkeit am besten entsprach. Ein Kartograph fertigte eine Karte an, aus eigenem Interesse, zu kommerziellem Zweck oder als Folge eines Auftrages, nach einer zufällig zur Verfügung stehenden oder ästhetisch besonders ansprechenden oder auch nach einer aus dem arabisch-islamischen Kulturkreis jüngst hereingekommenen Vorlage. Die Auswahl war beliebig.
Zur Arbeitsweise eines europäischen Kartographen vom 14. bis ins 18. Jahrhundert gehörte es auch, daß er es wagte, eine ihm bekannt gewordene Teilkarte in eine Übersichtskarte oder Weltkarte einzuarbeiten, ohne den Richtigkeitsgrad seines Tuns beurteilen zu können. Die Kartographiegeschichte des Kaspischen Meeres liefert uns dafür ein interessantes Beispiel. Es erstaunt, daß das Kaspische Meer in fast perfekter Form, wie man sie im 13. Jahrhundert im arabisch-islamischen Kulturkreis erreicht hatte, seit dem 14. Jahrhundert auf Teilkarten in Europa zirkuliert, im 14. und 15. Jahrhundert mit weitgehender Genauigkeit auf europäischen Weltkarten erscheint, im 16. und 17. Jahrhundert dann (mit wenigen Ausnahmen) aus dem Blickfeld der Kartenmacher verschwindet, um im ersten Viertel des 18. Jahrhunderts wieder zur Geltung zu kommen.

Beziehung von Karten zu Koordinaten in Europa

Diese Feststellung ist eng mit dem Befund verbunden, daß die in Europa angefertigten Karten der alten Welt bis zum 18. Jahrhundert noch nicht nach Koordinaten entworfen waren, sondern durch zeichnerische Übertragung der jeweiligen Vorlagen in zugrunde gelegte Gradnetze eingepaßt wurden. Zwar existierten im Abendland zahlreiche, aus dem arabisch-islamischen Kulturkreis übernommene oder auch in Europa kompilierte Koordinatentabellen, doch blieben sie mit Ausnahme einiger Teile Europas ohne jegliche Wirkung auf die dort entstandenen Karten. Der einzige uns bekannte Versuch, derjenige von Johannes Kepler, zwischen den Koordinaten der ihm bekannten Tabellen und der Darstellung der alten Welt eine Verbindung herzustellen, ist gescheitert.
Allem Anschein nach war Wilhelm Schickard in den dreißiger Jahren des 17. Jahrhunderts der erste Gelehrte, der zu der Ansicht gelangte, daß die in Europa zirkulierenden Karten der alten Welt, namentlich im Hinblick auf Asien und Afrika, sehr fehlerhaft seien und daß er eine korrektere Karte auf Grund arabischer Ortstabellen und nach Angaben in arabischen geographischen Werken entwerfen könne. Es ist meiner Ansicht nach in diesem Zusammenhang sehr bedeutsam, was der holländische Geograph Willem Janszoon Blaeu im Jahre 1634 an Schickard schrieb: «Was du über die Länge zwischen Alexandria und Rom bemerkt hast, so habe ich nach den Beobachtungen unserer Landsleute immer gemeint, daß es so sei, daß in der Tat ganz Europa zu lang dargestellt wurde».
Die langjährigen Bemühungen Schickards, die Koordinaten des Tabellenwerkes von Abu l-Fidāʾ kennenzulernen, um dann mit Benutzung weiterer arabischer geographischer Werke eine genauere Karte der alten Welt entwerfen zu können als die in Europa gängigen, zeigen, daß er nicht daran gedacht hat, es könne zweckmäßiger sein, aus dem arabisch-islamischen Kulturkreis Karten zu besorgen und sie nach eigener Kompetenz zu veröffentlichen. Zweifellos wußte er so wenig wie seine Vorgänger und seine Nachfolger, wie und unter welchen Bedingungen die in Europa zirkulierenden Karten entstanden waren. Er hätte in der Tat nicht wissen können, daß diese ursprünglich auf Vorlagen aus der arabisch-islamischen Welt zurückgin-

Abb. 10: «Persien und Nachbargebiete», von Adam Olearius im Jahre 1637 auf Grund von zwei arabischen Teilkarten zusammengefügt und in Lateinschrift übertragen, wie er es in seiner «Vermehrten Moscowitischen und Persianischen Reisebeschreibung» (Schleswig 1656, S. 434) deutlich zum Ausdruck bringt.

gen, die unterschiedlichen Entwicklungsstufen entstammten und Europa mehr zufällig durch mannigfaltige Kontakte bei Kriegen, durch Reisende und Seefahrer, durch die Kreuzzüge oder über Botschafter erreicht haben. Zwar gibt es ältere portugiesische, spanische, italienische oder holländische Quellen, die uns zu Spuren dieser Realität führen, doch gelangten sie bisher nicht in adäquater Weise ins Bewußtsein der Kartographiehistoriker oder wurden auch von diesen bisweilen willkürlich interpretiert und in den Bereich der Legende verwiesen.

Bewußte Übertragung arabischer Karten nach Europa

Die Periode der bewußten Übertragung von Karten aus dem arabisch-islamischen Kulturkreis begann wenige Jahre nach dem erwähnten Versuch von Schickard. Nach unserer heutigen Kenntnis war der deutsche Gelehrte Adam Olearius der erste, der unzweideutig angab, Karten aus der arabischen Schrift ins Lateinische übertragen zu haben. Es handelte sich dabei um eine Karte von Persien und eine von Anatolien, welche ihm im Jahre 1637, während seines Aufenthaltes in Schamachia (im Kaukasus), zusammen mit weiteren Teilkarten bekannt geworden waren (*Abb. 10*). Diese Art der Übertragung von Karten aus dem arabisch-islamischen Kulturkreis intensivierte sich in Paris zwischen circa 1650 und 1750 und ist damit dem Beginn der kreativen Periode der europäischen Kartographie verbunden. Dabei sehe ich ab von mehrmaligen deutlichen Angaben portugiesischer Seefah-

Abb. 11: Karte von Indien und seinen Nachbargebieten, von dem Holländer Jan Huygen van Linschoten (1596) nach eigener Angabe aus einer orientalischen Vorlage in Lateinschrift übertragen. Topographie und Toponymie der Karte lassen keinen Zweifel daran, daß diese Vorlage eine arabische Karte war.

Abb. 12: «Abbildung des Persischen Reiches aus den Schriften der größten arabischen und persischen Geographen» von Adrian Reland (Amsterdam, 1705), einem der europäischen Kartographen, die ausdrücklich von ihren orientalischen Quellen sprechen. Der Grund dafür, daß der nördliche Teil des Kaspischen Meeres, der nicht zum Persischen Reich gehörte, auf dem Blatt fehlt, dürfte darin liegen, daß Reland eine persische Karte als Vorlage verwendet hat.

Abb. 13: Genaue osmanische Karte des Schwarzen Meeres, deren Nullmeridian nach arabisch-persischer Tradition 28°30' westlich von Toledo im Atlantik liegt. Die am Rand angegebenen Längen und Breiten beweisen, daß das Wasserbecken in der Wiedergabe durch die osmanischen Geographen fast perfekte Dimensionen erreicht hat. Der französische Kartograph G. Delisle bediente sich einer Kopie oder des Originals dieser Karte, die vor 1700 nach Paris gelangt war.

rer seit Vasco da Gama, daß sie arabische Karten oder Seekarten gesehen, gekapert, kopiert oder in ihre Heimat gebracht haben, und auch von dem Hinweis des holländischen Kartographen Jan Huygen van Linschoten (*Abb. 11*), er habe die unter seinem Namen bekannte Karte von Südwestasien und Indien aus einer einheimischen in seine Sprache übertragen.

Die Karten von Olearius, diejenigen der Pariser Schule und viele der vorangegangenen Weltkarten bis zum Jahre 1560 führen uns direkt oder indirekt zu einem ihnen zugrunde liegenen Gradnetz, dessen Nullmeridian 28°30' westlich von Toledo liegt, wie er ein halbes Jahrtausend früher in der islamischen Welt festgelegt worden war. Hätte man in der Kartographie-Geschichtsschreibung den darauf hindeutenden Spuren in den Gradnetzen der Karten von Adam Olearius, Nicolas Sanson, Adrian Reland (*Abb. 12*), Guillaume Delisle, Joseph-Nicolas Delisle (*Abb. 13*), Jean-Baptiste Bourguignon d'Anville, Emmanuel Bowen, James Rennell und anderen die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt und hätte man einige der in europäischen Sprachen zugänglichen Ortstabellen mit den entsprechenden erhaltenen Karten aus der arabisch-islamischen Welt verglichen, wären dem Fach viele vergebliche Mühen und fruchtlose Diskussionen erspart geblieben.

Erdglobus,
nach der Weltkarte der Ma'mūngeographen angefertigt

Unser Modell:
Messing, lackiert.
Geamthöhe: 1,65 m,
Durchmesser 50 cm.
(Inventar-Nr. A 1.01)

Die in der Geschichte der Geographie bekannte Weltkarte, die im Auftrag des Abbasidenkalifen al-Ma'mūn (reg. 198/813-218/833) von zahlreichen Astronomen und Geographen geschaffen wurde und für verschollen galt, wurde Anfang der achtziger Jahre im ersten Band der Enzyklopädie *Masālik al-abṣār* von Ibn Faḍlallāh al-ʿUmarī (Autorenexemplar von ca. 740/1340) in der Saray-Bibliothek (III. Ahmet 2797/1) in İstanbul wiederentdeckt (s.o.S. 9). Der Band enthält auch drei Klimakarten gleicher Herkunft. Ferner sind drei Teilkarten, nämlich eine Darstellung des Nillaufes, eine Darstellung des Asowschen Meeres und eine Darstellung der «Rubininsel» in Südostasien in der Straßburger Universitätsbibliothek, Handschrift No. 4247 erhalten. Dieses Manuskript stammt aus dem Jahre 428/1036 und enthält das Koordinatenwerk der Ma'mūngeographie, das ein Abū Ǧaʿfar

Muḥammad b. Mūsā al-Ḫwārizmī an Hand des Gradnetzes der Weltkarte zusammengestellt hat. Dieser al-Ḫwārizmī war allem Anschein nach einer der Ma'mūngeographen, doch ist zur Zeit nicht sicher, ob er mit dem berühmten Mathematiker und Astronomen gleichen Namens identisch ist. Die insgesamt ca. 3000 Koordinaten von Orten bzw. geographischen Punkten ermöglichen eine lückenlose Rekonstruktion der Weltkarte. Die Rekonstruktionskarte (s.o.S. 11) deckt sich weitgehend mit dem erhaltenen Exemplar, das verständlicherweise durch wiederholtes Kopieren im Laufe von 500 Jahren unter gewissen Entstellungen gelitten hat. Dennoch ist dieses meiner Meinung nach die bedeutendste der uns erhaltenen Weltkarten. Mit der Rekonstruktionskarte zusammen liefert sie uns ein dem Original der Ma'mūngeographen weitgehend angenähertes kartographisches Bild und damit eine Vorstellung von dem Fortschritt, den die Menschheit im ersten Drittel des 3./9. Jahrhunderts bei der mathematischen Erfassung der Erdoberfläche erzielt hat. Bei ihrer Arbeit stützten sich die Ma'mūngeographen auf die ihnen zugänglichen Leistungen ihrer Vorgänger und vervollkommneten diese, soweit es ihnen im zeitlichen Rahmen einer Generation und unter den günstigen Verhältnissen ihrer Zeit möglich war. Ihre Hauptquellen waren zweifellos die Weltkarte von Marinos (1. Hälfte 2. Jh. n.Chr.) und die Geographie des Ptolemaios (2. Hälfte 2. Jh. n.Chr.). Letzterer hat allem Anschein nach selbst keine Karte hergestellt, sondern lediglich auf der Grundlage der Karte von Marinos eine kartographische Anleitung zusammengestellt, die er Geographie nannte.

Die erhaltene Weltkarte zeigt uns eine eindeutige Inselgestalt der Oikumene, die von einem hellblauen Ozean (*al-baḥr al-muḥīṭ*) umschlossen wird, der seinerseits von einer dunkelblauen Wassermasse umgeben ist, die den unbefahrbaren Ozean darstellen soll. Die Karte ist von einem globularen Gradnetz überzogen, sie besitzt mehrere Maßstäbe und zeugt von der Kenntnis der perspektivischen Darstellung von Gebirgen.[1]

Teilkarte 1

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 10: *Mathematische Geographie und Kartographie im Islam und ihr Fortleben im Abendland*, S. 80-129.

Teilkarte 2

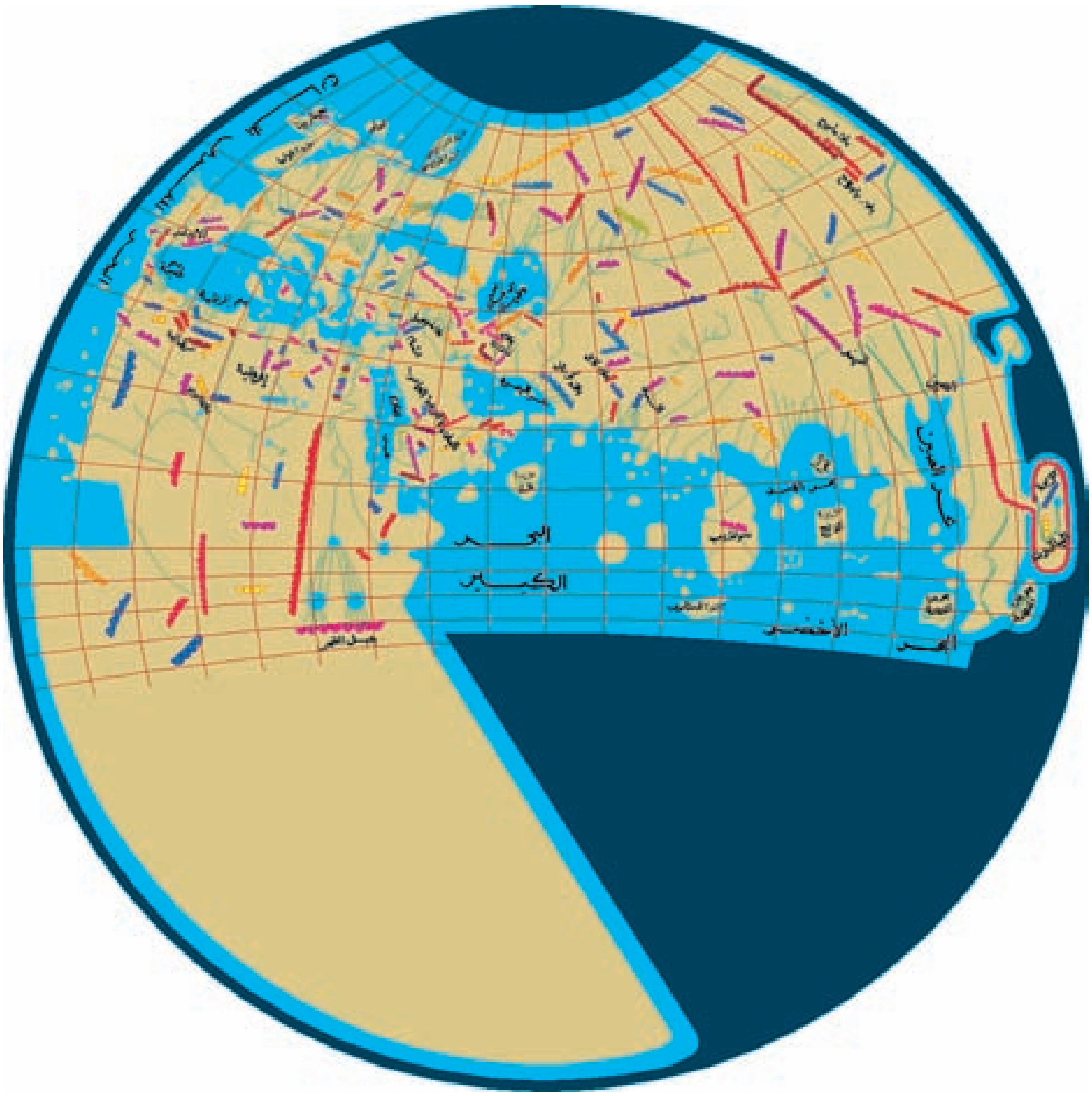
Teilkarte 3

Abb. oben: Teilkarten aus dem Maʾmūnatlas, erhalten in *Masālik al-abṣār* von Ibn Faḍlallāh al-ʿUmarī (Autorenexemplar von ca. 740/1340, İstanbul, Topkapı Sarayı, Ahmet III, 2797/1, Faks. Frankfurt 1988, S. 292f.), hier genordet wiedergegeben.
Teilkarte 1: Erstes Klima mit einem Teil Afrikas und des Indischen Ozeans.
Teilkarte 2: Zweites Klima mit Teilen Afrikas, des Roten Meeres, der Arabischen Halbinsel und Asiens.
Teilkarte 3: Drittes Klima, schließt nördlich an die Gebiete des zweiten Klimas an.

Die Weltkarte des Kalifen al-Maʾmūn (regierte 198-218/813-833)

Der in Baġdād residierende, an den Wissenschaften hoch interessierte ʿAbbasidenkalif al-Maʾmūn (gest. 218 der Hidschra / 833 n.Chr.) beauftragte in seiner Regierungszeit eine große Gruppe von Geographen und Astronomen damit, ein umfassendes geographisches Werk und eine neue Weltkarte zu schaffen. Der Auftrag wurde, ausgehend von der bekannten Weltkarte des Marinos (1. Hälfte 2. Jh.n.Chr.) und der Geographie des Ptolemaios (2. Hälfte 2. Jh.), auf der Grundlage zeitgenössischer geographischer Kenntnisse und mit Hilfe der aus geodätischen Messungen und astronomisch-mathematischen Angaben von den beauftragten Gelehrten gesammelten Daten durchgeführt.

Die Karte der Maʾmūngeographen wurde vor rund zwanzig Jahren in einer Kopie aus dem Jahre 740 der Hidschra (1340 n.Chr.) wiederentdeckt. Sie ist hier abgebildet. Zusammen mit einigen erhaltenen Teilkarten aus dem geographischen Werk und zeitgenössischen, auf der Weltkarte basierenden und ebenfalls erhaltenen Koordinatentabellen eröffnet sie einen völlig neuen Horizont in der Kartographiegeschichte. Der dank des herrscherlichen Auftrages erzielte Fortschritt läßt sich im Vergleich mit der Weltkarte ermessen, die den Namen des Ptolemaios trägt. Die von al-Maʾmūn beauftragten Gelehrten hatten den Vorteil, von Baġdād aus, das nahezu im Zentrum der damaligen bewohnten Welt lag, Süd- und Zen-



tralasien sowie Ost- und Nordafrika soweit wie möglich durch eigene Beobachtungen und Messungen zu erfassen. So ist die Ma’mūnkarte aus mannigfachen Gründen von epochaler Bedeutung.
Die zweite oben wiedergegebene Karte wurde nach den Angaben des originalen Koordinatenbuches rekonstruiert. Beide Karten zusammen – wobei die spätere Kopie das Original nicht mehr in seiner ursprünglichen Qualität wiedergibt – können uns deutlich die Errungenschaften vermitteln, die die Menschheit bei der kartographischen Darstellung der Erdoberfläche im ersten Viertel des 3./9. Jahrhunderts erworben hat. Die Ma’mūnkarte liefert uns damit eine solide Basis zur Bewertung der weiteren Entwicklung der Kartographie, wobei sie selbst für diese Entwicklung, sowohl im arabischen Kulturraum als auch im Abendland, von großer Bedeutung geworden ist. Abgesehen von ihrer ziemlich weit entwickelten Form der Erdoberfläche helfen uns ihre kartographischen Hilfsmittel, wie ihre globulare Projektion und ihr kartographischer Maßstab sowie die perspektivische Darstellung der Berge, unsere bisherige Datierung für die Entstehungszeit dieser Hilfsmittel zeitlich weitgehend vorzuverlegen. Hinzu kommt, daß hier die Achse des Mittelmeeres gegenüber einer Länge von 62° oder 63° bei Ptolemaios auf 52° reduziert ist, daß Afrika im Süden, Europa und Asien im Norden umfahrbar sind und der Indische sowie der Atlantische Ozean nicht mehr wie bei Ptolemaios als Binnenseen dargestellt werden.

metallene
Weltkarte
des al-Idrīsī

Unser Modell:
Metall, graviert und farbig lackiert
(Inventar-Nr. A 1.15)

Als Reminiszenz an die auf eine sehr große silberne Platte gravierte runde Weltkarte, welche von Muḥammad b. Muḥammad aš-Šarīf al-Idrīsī im Auftrag des Normannenkönigs Roger II auf Sizilien angefertigt wurde (s.o.S. 5f.) haben wir die nach den Daten der 70 orthogonalen Teilkarten des *Kitāb Nuzhat al-muštāq fī ḫtirāq al-āfāq* (beendet 549/1154) und ihre Übertragung in stereographische Projektion unter Vergleich mit den in den Handschriften erhaltenen Übersichtskarten rekonstruierte kreisförmige Weltkarte auf eine Metallplatte gravieren lassen.

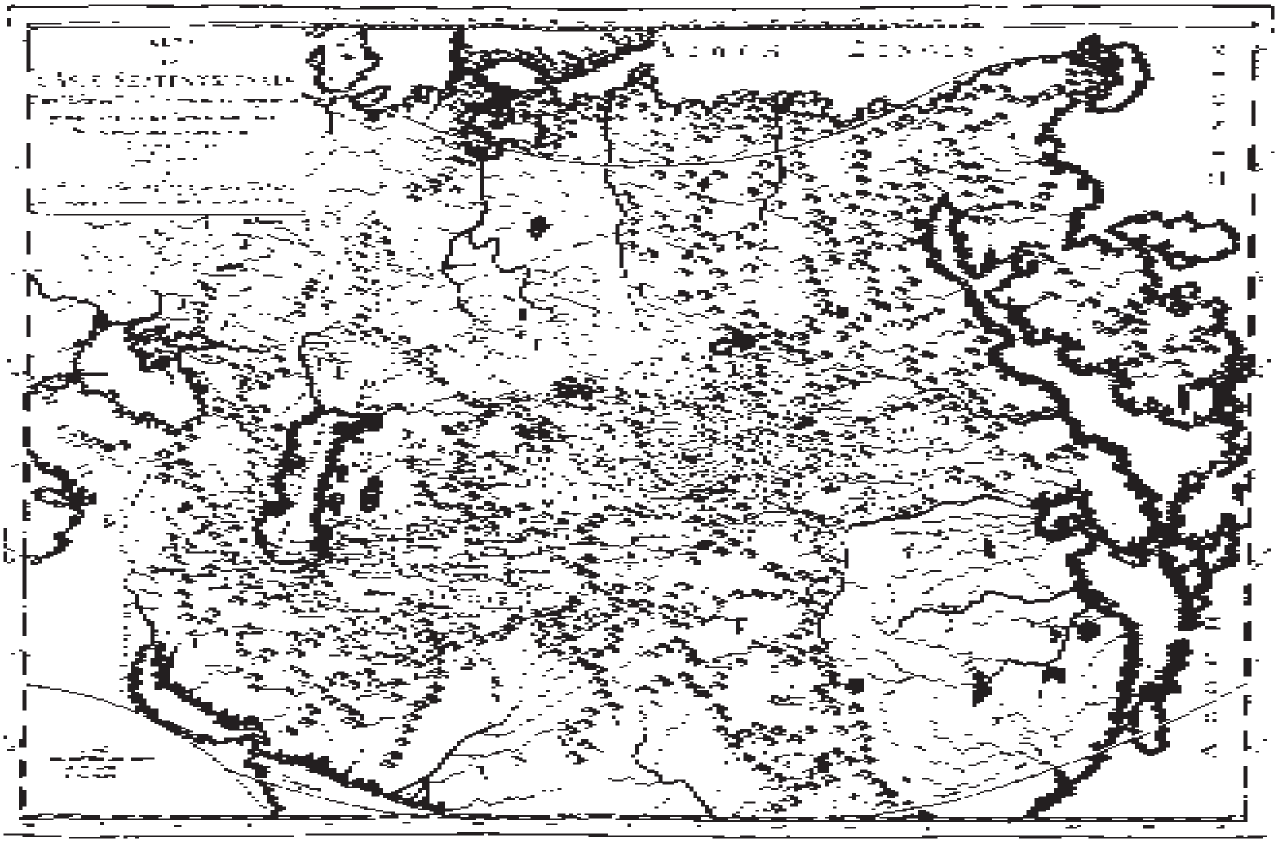
Runde Weltkarte des al-Idrīsī, Rekonstruktion des Instituts.

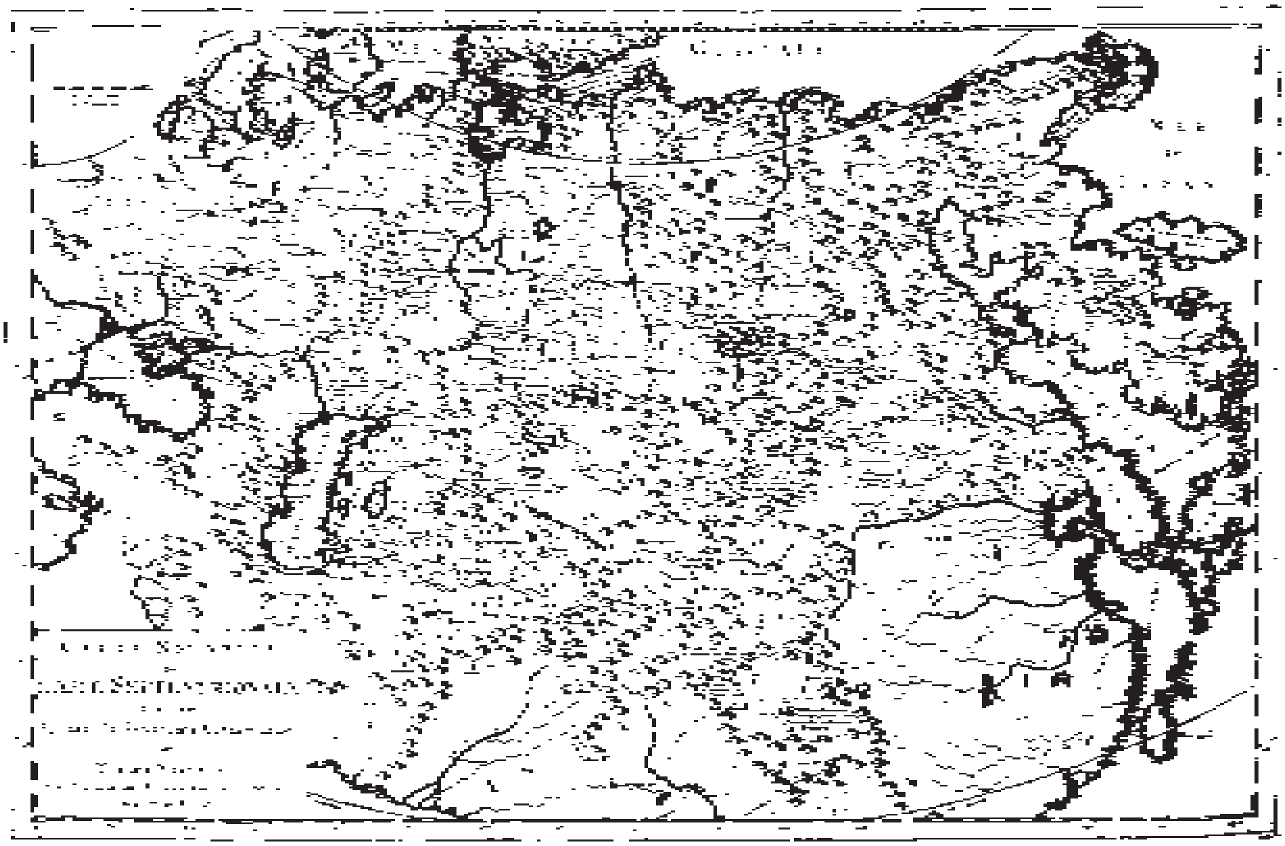
Weltkarte des Idrīsī, aus den Teilkarten der *Nuzhat al-muštāq* zusammengestellt von K. Miller (1928), hier der Anschaulichkeit halber genordet.

Die bekannte viereckige ‹Weltkarte des Idrīsī› wurde von Konrad Miller im Jahre 1928 aus den Teilkarten zusammengestellt, wobei aber, indem die notwendige Umrechnung unberücksichtigt blieb, der Norden ebensobreit als die äquatorialen Regionen dargestellt sind, sodaß die Gesamtkonfiguration von Nordasien und Afrika unkenntlich wird.

Teilkarten aus der Handschrift Paris, (Bibl. nat., Ms. or. 2221), Ausschnitt aus Klima 5, Bosphorus bis Kaspisches Meer.

Asienkarten (vermutlich 7./13. und 10./16. Jh.) aus der französischen Ausgabe des Buches von Abu l-Ġāzī Bahādur H̱ān (Leiden 1726), s.o. Bd. I, S. 130.





Instrument zur Breitenmessung
an jedem beliebigen Tag

Unser Modell:
Halbkugel aus Messing, Durchmesser: 36 cm, Koordinatennetz à 5°. Gnomon aus Stahl auf konkavem Teller, Durchmesser: 20 cm. Kegel aus Buchenholz, Höhe: 21 cm.
(Inventar-Nr. A 1.08)

Im arabisch-islamischen Kulturkreis wurde anscheinend in der ersten Hälfte des 5./11. Jahrhunderts ein Instrument entwickelt, das zwei Benutzungsvarianten zur Breitenmessung bot und ohne Zuhilfenahme einer Deklinationstabelle an jedem beliebigen Tag eingesetzt werden konnte. Dieses aus der Sicht der Erweiterung und Vervollständigung der geographischen Ortstabellen sehr wichtige Instrument wird im Grundwerk der mathematischen Geographie von al-Bīrūnī (gest. 440/1048), *Taḥdīd nihāyāt al-amākin li-taṣḥīḥ masāfāt al-*

masākin[1], beschrieben. Eine weitere Beschreibung des Gerätes verdanken wir Muḥammad b. Aḥmad al-Ḫāzimī[2] (wirkte um 453/1061 in Iṣfahān), einem jüngeren Zeitgenossen al-Bīrūnī's.
Bei der ersten Version des Verfahrens nimmt man einen ausreichend großen, genau gebauten, mit Längen- und Breitengraden versehenen Halbglobus und markiert darauf den Zenith. Man setzt den Großkreis des Halbglobus auf einen mittels eines Lots genau nivellierten horizontalen Boden. Als Hilfsmittel baut man einen Kegel, dessen Grundfläche den Durchmesser einer Handspanne hat. An einer Seite des Kegels öffnet man oberhalb der Grundfläche ein Fenster von der Größe, daß man eine Hand hineinstecken und das im Mittelpunkt der Grundfläche gebohrte Loch berühren kann. An der Spitze des Kegels bohrt man ein weiteres, sehr kleines Loch. Man setzt den Kegel auf die Halbkugel, richtet ihn, an einem beliebigen Zeitpunkt während des Tages, auf die Sonne und bewegt ihn so lange hin und her, bis der Sonnenstrahl durch das Loch an der Spitze des Kegels auf das Loch im Mittelpunkt der Grundfläche fällt.

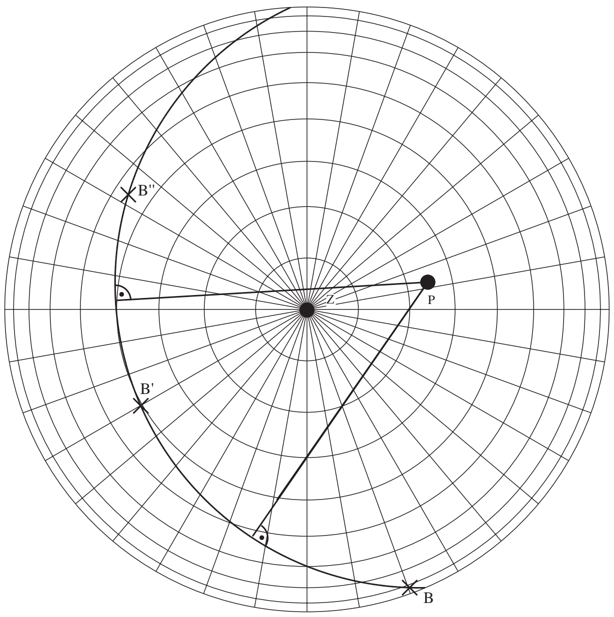


Abb.: Bestimmung des Breitengrades auf der Halbkugel

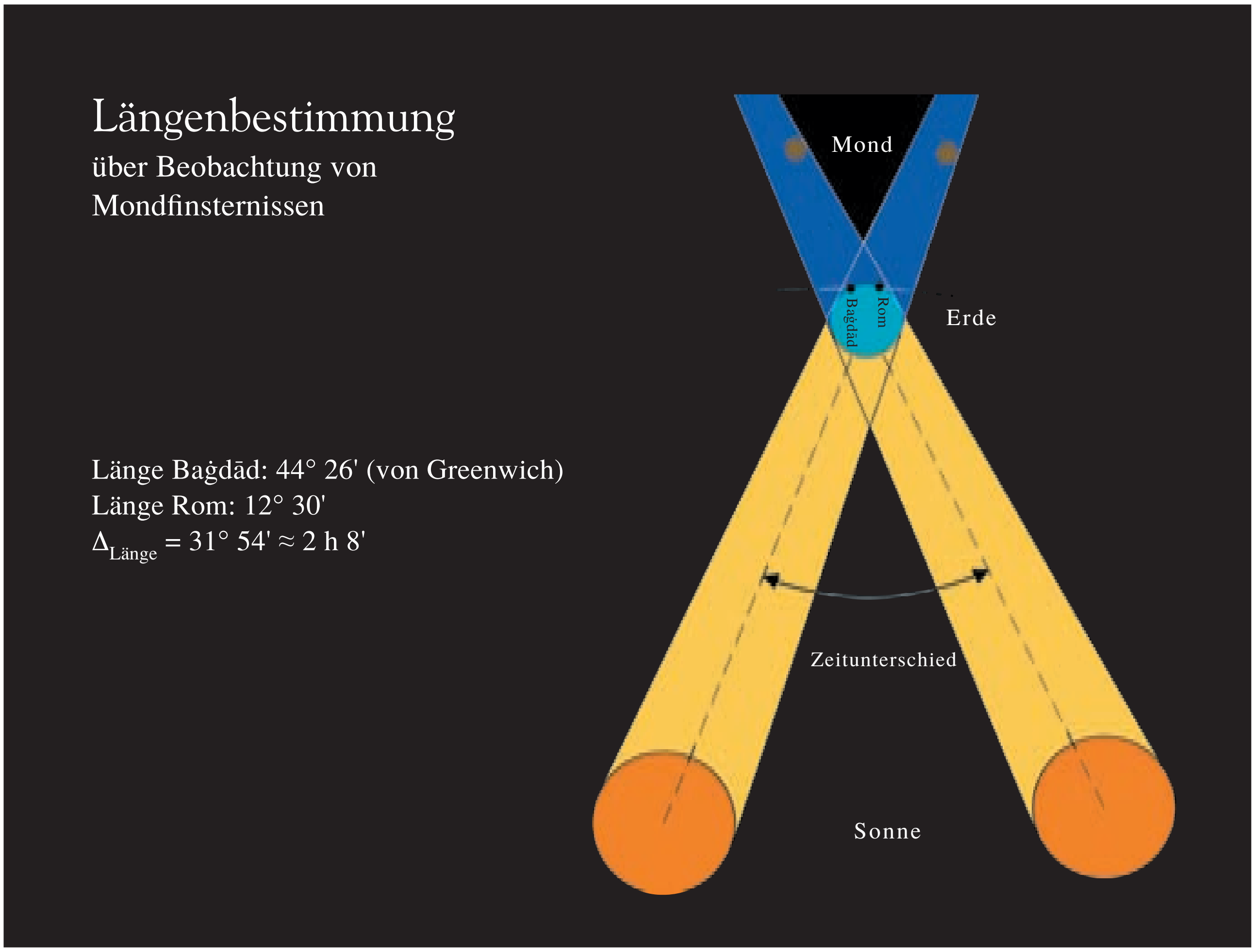
Die Position markiert man auf dem Halbglobus (s. Abb.). Man wiederholt die Beobachtung des Sonnenstandes an verschiedenen Zeiten des Tages und erhält als Resultat unterschiedliche Markierungen (B, B', B''), die man miteinander zu einem Bogen verbindet. Dann ermittelt man den Pol (P) des dadurch gewonnenen Bogens des Großkreises. Dieser entspricht dem Pol des Himmelsäquators (*muʿaddil an-nahār*), und dessen Abstand (*a*) vom Zenith (Z) liefert uns den Komplementwinkel zu 90° und damit den Breitengrad

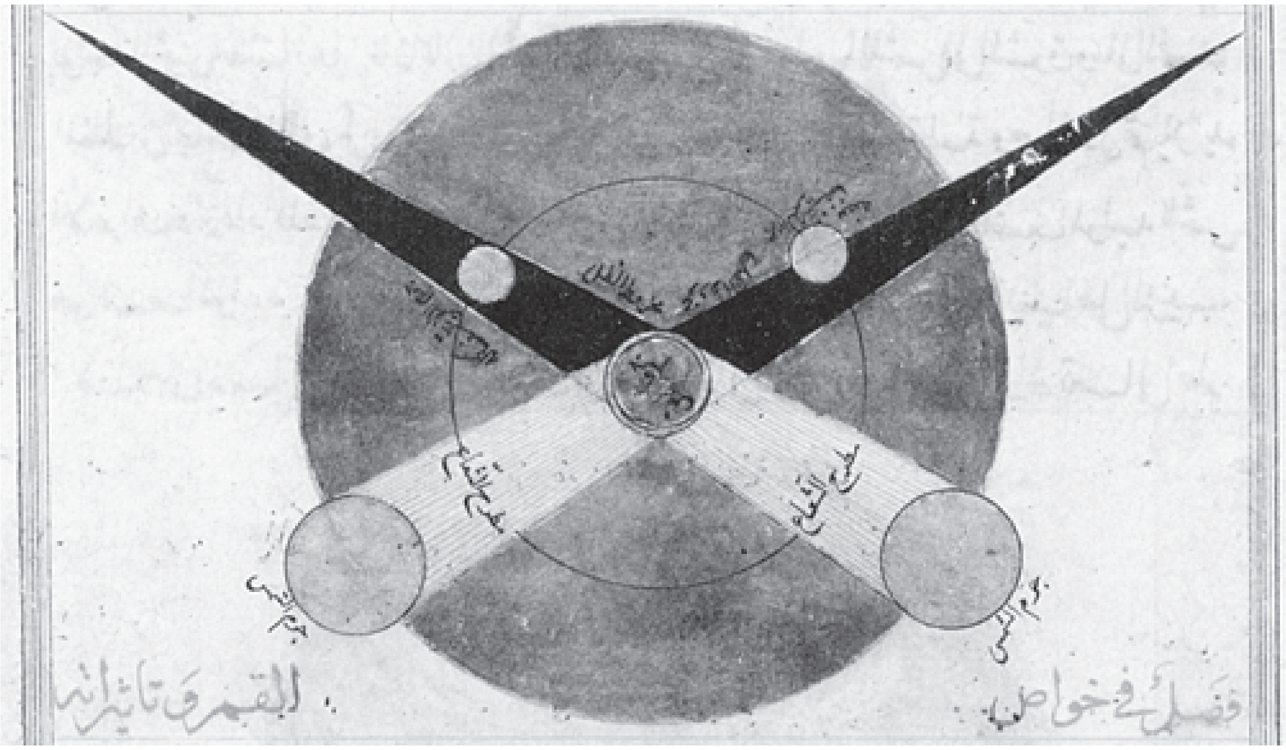
$$\varphi = 90 - a.$$

Bei der zweiten Version des Verfahrens verwendet man an Stelle des Kegels ein kreisförmiges Segment der Oberfläche einer Kugel aus Metall oder Holz, dessen Durchmesser ein oder zwei Millimeter größer ist als der des oben verwendeten Halbglobus. In der Mitte der Außenseite dieser sich an den Globus anschmiegenden Kappe befestigen wir ein Gnomon. Die Kappe wird so lange auf dem Globus in Richtung der Sonne hin und her bewegt, bis der Schatten des Gnomons verschwindet. Diese Position wird auf dem Globus als Mittelpunkt des Kreises ermittelt, welcher zuvor um die Kappe markiert wurde. Zwei weitere Positionen werden bei anschließenden Beobachtungen am selben Tag hinzugefügt. So kann, wie bei der ersten Version, der Pol des Himmelsäquators auf dem Halbglobus und anschließend der Breitengrad des Beobachtungsortes ermittelt werden.

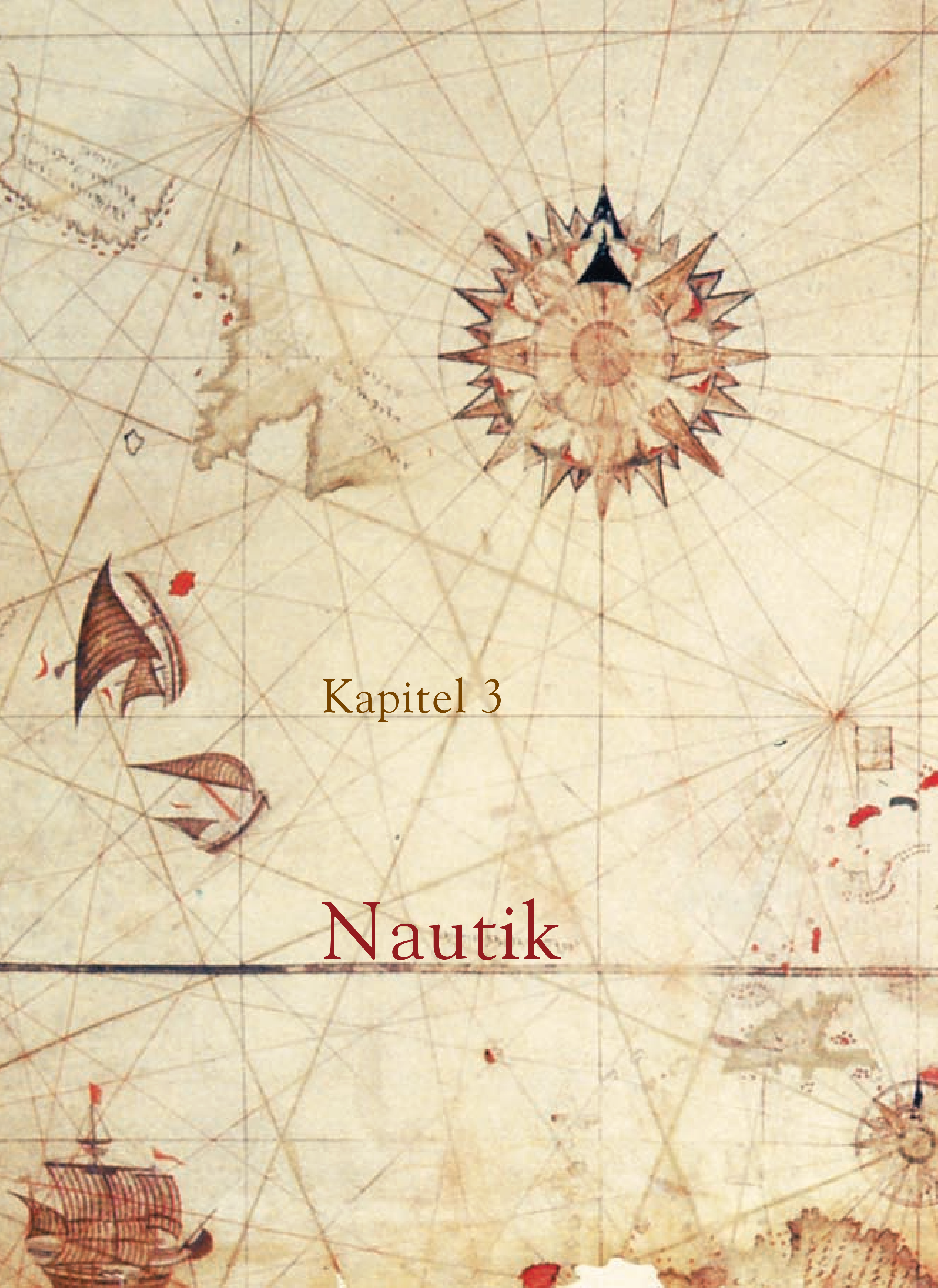
[1] Ed. P. Bulgakov, Kairo 1962 (Nachdr. in: Islamic Geography Bd. 25), S. 71-72; engl. Übers. Jamil Ali, *The Determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities*, Beirut 1967 (Nachdr. Islamic Geography Bd. 26), S. 41-42; s. noch E. S. Kennedy, *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Taḥdīd al-Amākin*, Beirut 1973 (Nachdr. Islamic Geography Bd. 27), S. 20-22.

[2] Auszüge aus einem Buch von ihm sind erhalten in einem Sammelband, İstanbul, Universitätsbibliothek, A.Y. 314, Faksimile-Ed. *Manuscript of Arabic Mathematical and Astronomical Treatises*, Frankfurt, Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 2001 (Serie C, Bd. 66), S. 28-29.





Darstellung von Eklipsen aus al-Qazwīnī, *ʿAǧāʾib al-maḫlūqāt,* mamlūkisch, 7./13. Jh.;
Hds. Wien, Nat. Bibl. Cod. mixt. 311, Fol. 3 b.



Kapitel 3

Nautik

Wisse, daß es drei Klassen von Navigatoren gibt: Solche, mit deren Fahrt es einmal gut geht und ein andermal nicht, deren Antwort einmal richtig ist und dann wieder falsch. Diese verdienen die Bezeichung «Meister» nicht. In der zweiten Klasse sind die durch praktisches Wissen und Erfahrung bekannten Navigatoren. Sie sind geschickt und beherrschen die Routen, die sie befahren haben, doch geraten sie nach ihrem Tod in Vergessenheit. Die dritte Klasse ist die höchste. Wer ihr angehört, ist sehr bekannt, beherrscht alle Seeoperationen und verfaßt Schriften, von denen man zu seiner Zeit und auch später noch Nutzen hat.

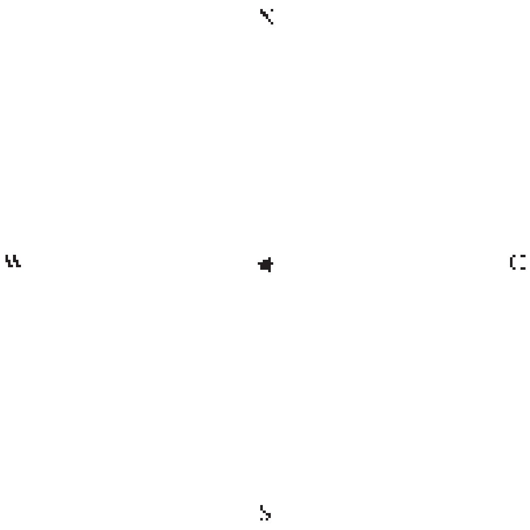
Ibn Māǧid (2. Hälfte 9./15. Jahrhundert)

Einleitung

Daß die Muslime schon gegen Mitte des 1./7. Jahrhunderts begonnen haben, mit eigenen Flotten Inseln im Osten des Mittelmeeres zu attackieren und zu erobern und daß sie innerhalb kurzer Zeit im südlichen Mittelmeer und später im gesamten Mediterranen Raum zu einer gefürchteten Seemacht heranwuchsen, ist von der einschlägigen Forschung, vor allem in der letzten Hälfte des 20. Jahrhunderts, festgestellt worden.[1] Daß der Seeverkehr zwischen den Muslimen und China ebenfalls schon auf das 1./7. Jahrhundert zurückgeht und Jahrhunderte lang sich ausdehnend angedauert hat, war in der Forschung schon seit langem bekannt.[2] Daß die Entwicklung der arabisch-islamischen Seefahrt im Atlantik an dem ca. 1300 km langen Küstenstreifen von Coimbra im Norden bis Nūl (heute vermutlich Noun) im Süden von der arabischen Eroberung bis zur Herrschaft der Almohaden (1130-1269) sehr bedeutsam war, hat Christophe Picard in seiner ausgezeichneten Arbeit *L' océan Atlantique musulman*[3] deutlich gemacht. Es muß allerdings betont werden, daß es in diesen Arbeiten im allgemeinen um den historischen Aspekt der von Arabern und Muslimen in den genannten großen Wasserbecken betriebenen Seefahrt geht, nicht um die dabei verwendeten Techniken. Deshalb wissen wir zur Zeit so gut wie nichts über die Seefahrtstechnik der Muslime im Mittelmeer und im Atlantik. Im Falle des Indischen Ozeans verfügen wir dagegen über Kenntnisse einer recht gut ausgebauten Nautik, dank einer bereits im frühen 19. Jahrhundert begonnenen speziellen Forschung. Im elften Band meiner *Geschichte des arabischen Schrifttums* über *Mathematische Geographie und Kartographie im Islam und ihr Fortleben im Abendland*[4] habe ich diese Nautik und ihren Einfluß auf die nautischen Kenntnisse der Portugiesen ausführlich dargestellt. Hier seien einige Punkte daraus mitgeteilt.

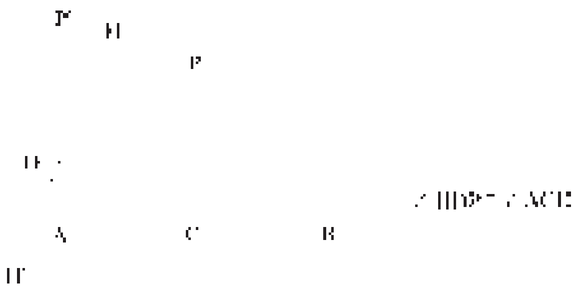
[1] Zur Literatur s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 5 ff.
[2] Zur Literatur s. ebd., Bd. 10, S. 546-547, dazu George Fadlo Hourani, *Arab seafaring in the Indian Ocean in ancient and early medieval times*, Princeton 1951.
[3] *L' océan Atlantique musulman. De la conquête arabe à l' époque almohade*, Paris 1997; s. F. Sezgin, a.a.O., Bd. 11, S. 11-12.
[4] *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 159-319.

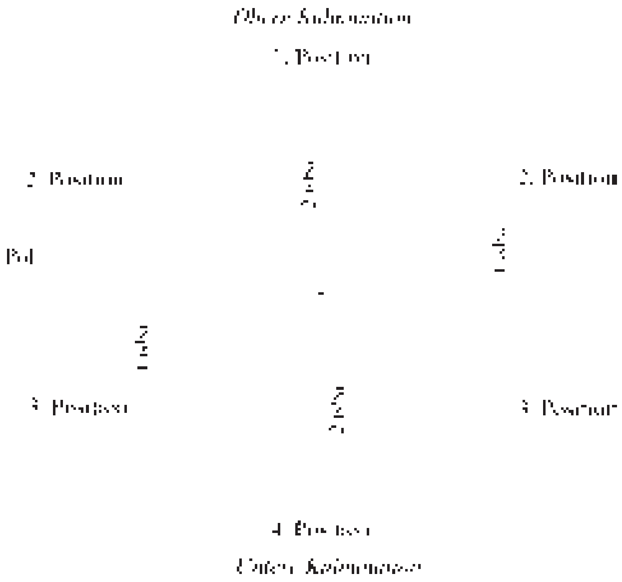
Wir können mit an Gewißheit grenzender Wahrscheinlichkeit annehmen, daß die Verbindung über See zwischen den Anwohnern der westlichen und der östlichen Küsten des Indischen Ozeans lange Zeit entlang der Küstenlinien erfolgte. Doch ab einer gewissen Zeit müssen sie sich ermutigt gefühlt haben, größere Strecken auf hoher See zurückzulegen. Seit wann, wie und mit welchen Seefahrern dies geschah, wissen wir nicht. Arabische Quellen lassen vermuten, daß man sich zur Orientierung auf See der Auf- und Untergänge einiger Fixsterne, der Position des Nordsterns und weiterer Zirkumpolarsterne bediente. Im Laufe der Entwicklung dieses Orientierungssystems gelangte man dazu, sich neben dem Nord- und dem Südstern an 15 Fixsterne zu halten, deren Auf- und Untergangspunkte im Abstand von etwa 11° 15' zueinander stehen, was zu einer Teilung des Horizontkreises in 32 Teile führte:



32er-Teilung des Horizontkreises

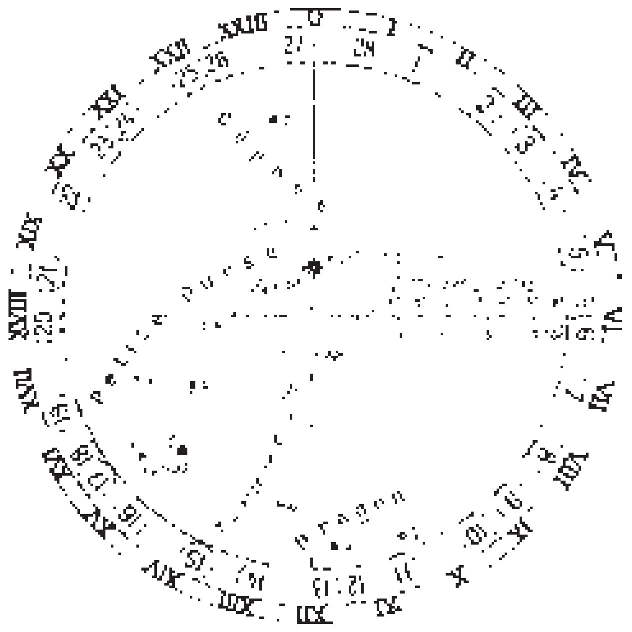
Auf einem verhältnismäßig hohen Stand der Entwicklung verbreitete sich die Kenntnis, daß die Erdoberfläche von Astronomen und mathematisch ausgerichteten Geographen vom Äquator aus nach Norden und nach Süden in je 90° und in der Länge in 360° geteilt wird. Dadurch dürfte der Wunsch nach einer Bestimmung der Position auf hoher See nach Graden entstanden sein, die sich bis dahin allem Anschein nach nur ganz grob an Hand der verflossenen Zeit und der demzufolge seit dem Ablegen zurückgelegten Strecke schätzen ließ. In diesem Zusammenhang muß man zu der astronomische Kenntnis gelangt sein, die schon den alten Griechen bekannt war, daß die Polhöhe (P) eines Ortes (D) auf der Erdoberfläche (Winkel HDP') gleich seinem Breitengrad (Winkel ACD) ist:[5]





Die Nautiker des Indischen Ozeans werden entweder durch eigene Erfahrung, vermutlich aber von arabischen Astronomen gelernt haben, daß der Pol als abstrakter Punkt nicht mit dem Polarstern zusammenfällt, sondern daß letzterer einmal am Tag um den anderen einen (scheinbaren) Kreis mit einem sich im Laufe der Zeit ändernden Radius von ca. 3°25' beschreibt[6] und daß man bei der Messung der Polhöhe die sich bei der Rotation ändernde Höhe des Polarsternes in Betracht ziehen muß. Das bedeutet, daß die beobachtete Höhe des Polarsternes auf die Höhe des Himmelspols selbst zu übertragen ist. Dazu stand ihnen das seit dem 3./9. Jahrhundert bekannte Verfahren arabischer Astronomen zur Verfügung, durch Halbierung der Differenz zwischen den ermittelten oberen und unteren Kulminationshöhen der Zirkumpolarsterne deren wahren Abstand vom Himmelspol zu berechnen.[7] «Im Gegensatz zum Astronomen, der diese Aufgabe hauptsächlich durch Beobachtung und Messen des Stundenwinkels zwischen der Position des Polarsternes im Meridian und seiner Rektaszension oder des Standes eines Zirkumpolarsternes zur Mittagslinie erfüllte,[8] hatte der Seefahrer seine Aufgabe durch Beobachtung weiterer Festpunkte am Himmel zu bewältigen. Dabei wurden zunächst die beiden, nach damaliger astronomischer Anschauung fest mit dem Polarstern α im Sternbild des kleinen Bären verbundenen Sterne β und γ zu Hilfe genommen. Diese beiden, *al-Farqadān* genannt, ermöglichten es durch ihre bereits bekannten Abstände und durch ihre gemeinsam wechselnden, horizontale und vertikale Linien bildenden Positionen, die Lage des Himmelspoles zu bestimmen. Nautiker des Indischen Ozeans zogen zur Sicherheit und auch zur Erleichterung der Lagebestimmung des Himmelspoles bestimmte Auf- und Untergangszeiten der achtundzwanzig Mondstationen (*manāzil al-qamar*) als weiteres Hilfsmittel heran. Die Aufgänge bestimmter Mondstationen lieferten Indizien dafür, daß eine der festgelegten Positionen der beiden Sterne β und γ Ursae minoris zum Pol zutrifft, und sie lieferten eine Zeitangabe darüber, wann jene Positionen im Rahmen der täglichen scheinbaren Rotation des Firmamentes eintreten. Die Mondstationen in der Ekliptik machen nämlich die tägliche scheinbare Rotation mit.»

[5] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 11, S. 188.
[6] Ebd Bd. 11, S. 188-189.
[7] Ebd. Bd. 11, S. 191-192.
[8] Ebd. Bd. 10, S. 169.



In der von uns beigegebenen Figur «ist die 12. Mondstation … in der Untergangsposition. Ihr ‹Wächter›, die 26. Mondstation …, befindet sich ihr bei 180° gegenüber in der Aufgangsposition. In dieser Konstellation erreicht der Polarstern seine obere Kulmination. Dagegen weisen der Untergang der 26. und der Aufgang der 12. Mondstation darauf hin, daß der Polarstern in seiner unteren Kulmination steht.»[9]

Die Bestimmung der Position des Nordpols ermöglichte dem Seefahrer nicht nur eine genauere Messung der Polhöhe und damit seiner latitudinalen Position auf hoher See, sondern auch, bei meridionaler Fahrt, eine Ermittlung der zurückgelegten Strecke in Graden.

Dies war nur eine der Komponenten, die ein sicheres Durchfahren des Indischen Ozeans nach allen Richtungen und eine ziemlich genaue Positionsbestimmung auf See ermöglichten. Bei bewölktem Himmel jedoch war eine Orientierung nach den Sternen oder der Sonne nicht mehr möglich.

In diesem Fall brauchte man ein anderes Hilfsmittel. Es war der Kompaß. Unsere arabischen Quellen erlauben die Vermutung, daß der Kompaß arabischen Seefahrern des Indischen Ozeans schon im 4./10., vielleicht sogar schon im 3./9. Jahrhundert bekannt war. Mit großer Wahrscheinlichkeit hat die Kenntnis der Magnetnadel als Orientierungsmittel den Indischen Ozean von China aus erreicht. Wir können als sicher annehmen, daß der Kompaß bereits vor dem 10./16. Jahrhundert, vielleicht schon im 8./14. oder 7./13. Jahrhundert den Seefahrern im Indischen Ozean nicht nur als Orientierungshilfe diente, sondern auch zur Ermittlung von Strekken auf hoher See und beim Zusammenstellen und Korrigieren von Kartenmaterial eingesetzt wurde.

Während unserer Beschäftigung mit der Geographie und der Nautik des Indischen Ozeans haben wir die Überzeugung gewonnen, daß die kartographische Darstellung dieses Gebietes und die Arbeit an den dafür erforderlichen Längen- und Breitengraden schon im 9./15. Jahrhundert ein hohes Niveau erreicht hat. Dies führt zur Erörterung der Frage nach der longitudinalen Positionsbestimmung auf hoher See, und hier haben wir es nun mit einer fundamentalen Leistung der arabisch-islamischen Nautik zu tun.

Als Wilhelm Tomaschek gegen Ende des 19. Jahrhunderts auf Grund des damals bekannten beschränkten Materials aus zweiter Hand so viele Daten über Entfernungen und Richtungen zusammenstellen konnte, daß er in der Lage war, 30 Teilkarten des Indischen Ozeans zu rekonstruieren, überraschte er damit die Fachwelt. Nach seiner Meinung waren diese Angaben allerdings lediglich «durch tausendfache Erprobung» gewonnen worden.[10] Dieses fundamentale Problem der arabischen Nautik konnte erst nach der Entdeckung und gründlichen Auswertung ihrer speziellen Werke, namentlich derer des Sulaimān al-Mahrī (frühes 10./16. Jh.), geklärt werden.

Mit dem Hinweis auf die ausgezeichnete Untersuchung von Matthias Schramm[11] und die ausführliche Behandlung des Themas in der *Geschichte des arabischen Schrifttums*[12] seien hier die Verfahren der arabischen Nautik mitgeteilt, die zur Ermittlung der drei Arten von Distanzen durch Messen der zurückgelegten Strecken auf See dienten, gemessen in arabischen Meilen (1 *mīl* ≈ 1972 m) :

[9] Ebd. Bd. 11, S. 189-190.

[10] Ebd. Bd. 11, S. 198.

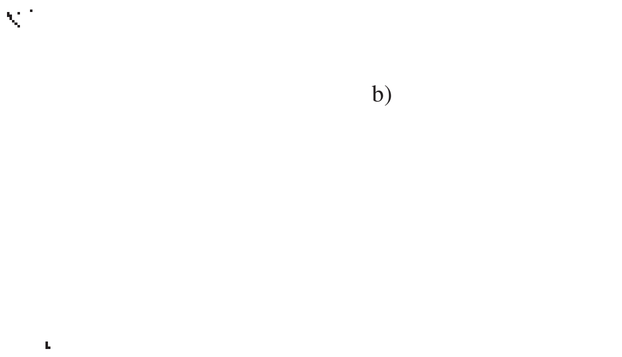
[11] *Verfahren arabischer Nautiker zur Messung von Distanzen im Indischen Ozean*, in: Zeitschrift für Geschichte der arabisch-islamischen Wissenschaften (Frankfurt) 13/1999-2000/1-55.

[12] F. Sezgin, a.a.O., Bd. 11, S. 198 ff.

1. Meridionale Distanzen, die ein Schiff in Nord-Süd-Richtung oder umgekehrt parallel zu einem Meridian zurücklegt, werden gemessen, indem der Seefahrer beim Ablegen die Polhöhe des Startortes ermittelt und bei Bedarf auf seiner strikt gen Nord oder Süd führenden Fahrt wiederum die Polhöhe des dann erreichten Ortes mißt. Die Differenz zwischen den beiden Messungen ergibt die zurückgelegte Strecke in Graden.

2. Ermittlung von Distanzen schräg zum Meridian. Auch hier ermittelt der Seefahrer zunächst die Polhöhe des Abfahrtsortes. Nach Zurücklegen einer gewissen Strecke unter Einhalten des festgelegten Kurses (entweder nach einem der Weisungspunkte der in 32 Teile geteilten Kompaßscheibe, oder nach dem entsprechenden Auf- oder Untergangspunkt eines der bekannten fünfzehn Fixsterne) ermittelt er wieder die Polhöhe. Die sich ergebende Differenz zwischen den beiden Polhöhen und dem bei der Abfahrt festgelegten Kurs liefert dem Navigator eine Seite und einen der beiden benachbarten Winkel eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen trigonometrisch zu berechnende Hypotenuse der Länge der gesuchten Strecke entspricht.

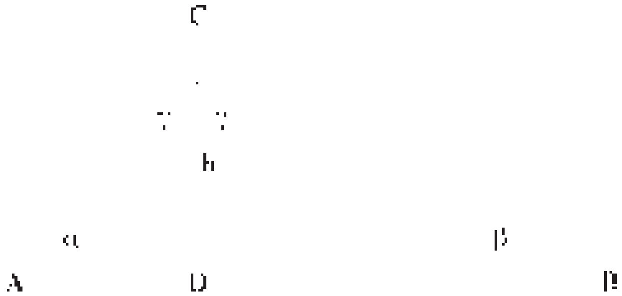
a)



b)

Berechnung von Distanzen schräg zum Meridian:
a) Weisungspunkte des Horizontkreises,
b) Berechnung des Quadrats.

3. Ermittlung von Distanzen zwischen zwei Orten, die auf gleicher geographischer Breite an gegenüberliegenden Küsten ozeanischer Gewässer liegen. Hierbei geht es um Distanzen, die parallel zum Äquator verlaufen. Bei dieser Art der Distanzmessung, die einer Ermittlung von Längendifferenzen gleichkommt, wird die Aufgabe durch eine Art Triangulation gelöst. Nach genauer Bestimmung der Polhöhe beim Ablegen hält man einen festgelegten und im Kurs eingehaltenen Winkel schräg zum Meridian, bis man einen gewissen Punkt erreicht, an dem man wieder die Polhöhe mißt. Von dort schlägt man in einem gewissen Winkel gegenläufig zum bisherigen Kurs, bis man wieder die Polhöhe erreicht, die bei der Abfahrt registriert wurde. Mit den eingehaltenen Kurswinkeln und der ermittelten Polhöhendifferenz simuliert der Seefahrer zwei rechtwinklige Dreiecke mit einer gemeinsamen Seite, die aus der ermittelten Polhöhendifferenz besteht:



$\overline{AC}$ = erster Kurs
$\overline{CD}$ = Polhöhendifferenz
$\overline{CB}$ = zweiter Kurs
$\overline{AB}$ = die zu messende Strecke

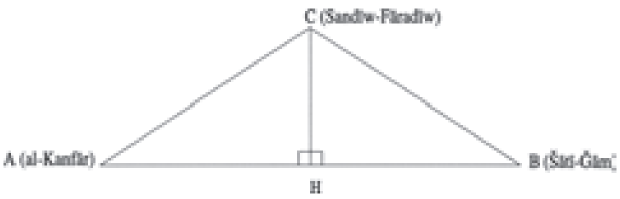
Der Seefahrer konnte diese Triangulation beliebig fortsetzen. Es sei noch hinzugefügt, daß sich bei den Nautikern des Indischen Ozeans die Sitte eingebürgert hatte, Entfernungen nach einem Längenmaß anzugeben, das *zām* hieß und umgerechnet 23.851 Meter oder 4.77 neuen portugiesischen *leguas*[13] entsprach. Dieses Längenmaß war ein Achtel der Strecke, die man innerhalb eines Tages

[13] *Die topographischen Capitel des indischen Seespiegels Moḥîṭ*. Übersetzt von M. Bittner. Mit einer Einleitung … von W. Tomaschek, Wien 1897, S. 22 (Nachdr. in: Islamic Geography Bd. 16, Frankfurt 1992, S. 156).

und einer Nacht mit dem Schiff zurücklegen konnte, das bedeutet eine Fahrstrecke von drei Stunden,[14] wie es unsere arabischen Quellen angeben. Wir können daraus schließen, daß die Schiffe im Indischen Ozean täglich eine Strecke von rund 190 km zurücklegen konnten (d.i. eine Durchschnittsgeschwindigkeit von knapp 5 Knoten) und für die Fahrt zwischen Ostafrika und Sumatra entlang des Äquators (ca. 57° = 6330 km) etwa 32 Tage brauchten.

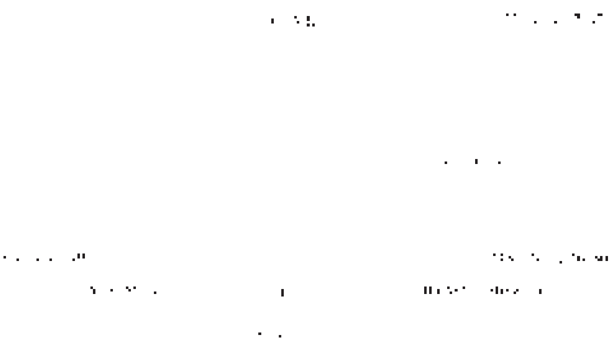
Zum Verständnis dieser Übersicht ist es ferner erforderlich, das von den Nautikern des Indischen Ozeans verwendete Bogenmaß *iṣbaʿ*, das wörtlich «Daumenbreite» bedeutet, zur Sprache zu bringen. Vielleicht kannte man dieses Maß, dessen praktischer Nutzen nicht zu leugnen ist, bereits bevor man die arabische Astronomie kennenlernte, vielleicht sogar schon vor dem Erscheinen der arabischen Nautiker im Indischen Ozean. Ein *iṣbaʿ* ist ein Teil eines in 224° oder 210° geteilten Kreises. Nach der ersten Teilung beträgt ein *iṣbaʿ* 1°36'26", nach der zweiten 1°42'51".[15]

Nach diesen einführenden Erklärungen seien hier die zwei klassischen Beispiele der arabischen Nautik des Indischen Ozeans zur Veranschaulichung des Verfahrens angeführt, Distanzen von Strecken auf hoher See zu messen, die parallel zum Äquator liegen. Bei dem ersten «handelt es sich um drei Orte aus dem Golf von Bengalen, die mit ihren gegebenen Breiten (zweimal 11 *iṣbaʿ* = 22°18' und einmal 11 $^1/_2$ *iṣbaʿ* = 23°09') ein gleichschenkliges Dreieck bilden. Die Größe der beiden (identischen) Basiswinkel wird nach der Position der Orte zum Aufgangs- bzw. Untergangspunkt eines Fixsternes angegeben, der nach dem korrespondierenden 11. oder 23. Weisungsstrich der Kompaßrose 22°30' beträgt»:



∠ HAC = HBC = 22°30'

Das zweite Beispiel bezieht sich auf das Arabische Meer. Es lautet: ‹Es liegen zwei Kurse, [der eine] zwischen Aden [5 *iṣbaʿ* nach der unteren Kulmination des Polarsternes = 12°] und Anf al-Ḫinzīra mit 4 *iṣbaʿ* [= 10°18'] beim Aufgang des Suhail [Canopus, α Argus] und [der andere] zwischen Aden und al-Maskan, gleichfalls mit 4 *iṣbaʿ* beim Untergang der *Ḥimārān* (der beiden Esel, α und β Centauri). Die zwischen den beiden Orten [Anf al-Ḫinzīra und al-Maskan] ermittelte Distanz beträgt 10 *zām*.



∠ CAB = 56°15'
(gemäß dem 20. Weisungsteil der Kompaßrose).
∠ ABC = 67°30'
(gemäß dem 15. Weisungsteil der Kompaßrose).
∠ ACB = 56°15' = ∠ CAB.

Trotz der Abweichungen der Breitengrade von den heutigen Werten scheint die ermittelte Distanz von 10 *zām* = 283,56 km dem Wert der heutigen Karte von (45°50' - 43°37' =) 2°13' ungefähr zu entsprechen.»[16]

Die arabischen Nautiker «bewahren uns in den betreffenden Kapiteln ihrer Bücher ziemlich lange Tabellen für kleine und große Distanzen im Indischen Ozean auf. Ihre Daten erweisen sich im Vergleich mit heutigen Werten zum großen Teil als sehr gut, teilweise als relativ gut, teilweise, wo sie wenig befahrene Gebiete betreffen, als fehlerhaft. Aber im ganzen zeugen sie, zusammen mit den Breitengraden und angegebenen Richtungen, von einer der Wirklichkeit erstaunlich nahekommenden

[14] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 201.

[15] Ebd. Bd. 11, S. 194.

[16] Ebd. Bd. 11, S. 211-213.

mathematischen Erfassung des Indischen Ozeans … Über die Frage, wieweit die mathematische Erfassung der Konfiguration des Indischen Ozeans in der arabisch-islamischen Welt entwickelt war und wie erfolgreich die Nautiker bei ihren Distanzmessungen operierten, gibt uns Sulaimān al-Mahrī im vierten Kapitel seines *Minhāǧ al-fāḫir* deutliche Auskunft. Dort verzeichnet er in einem Abschnitt, der ausschließlich Distanzen zwischen der Ostküste Afrikas und Sumatra – Java gewidmet ist, 60 Distanzen zwischen Kaps, Golfen, Inseln und Häfen im Indischen Ozean, die sich auf gleichen geographischen Breiten befinden. Vor mehr als 60 Jahren hat G. Ferrand auf die Bedeutung des von Sulaimān al-Mahrī gelieferten Materials über die (transozeanischen) Distanzen zwischen der ostafrikanischen Küste und Java – Sumatra hingewiesen. Leider blieb sein Hinweis von Geographie- und Kartographiehistorikern mit Ausnahme von H. Grosset-Grange, soweit ich sehe, unbeachtet.»[17] «Die außerordentlich große geographiehistorische Bedeutung dieser Tabelle des Sulaimān al-Mahrī besteht auf keinen Fall nur darin, worauf G. Ferrand hingewiesen hat. Die Tabelle kommt erst richtig zur Geltung, wenn man ihre Daten mit den heutigen Koordinaten vergleicht. Der Vergleich wird kaum dadurch beeinträchtigt, daß sich nicht alle alten Namen im modernen Atlas identifizieren lassen. Auch ohne Ortsnamen hätten wir unseren Vergleich durchführen können, da al-Mahrī Distanzen zwischen korrespondierenden Breitengraden an entgegengesetzten Punkten der afrikanischen und der sumatrisch-javanischen Küsten registriert hat. Setzen wir die von Sulaimān al-Mahrī angegebenen Summen von *zām*s … in Grad um, erreichen wir die Werte auf der folgenden Tabelle:[18]

			al-Mahrī			Heutige Werte					
	Ort an der afrikanischen Küste	Ort an der Küste von Sumatra/Java	B	Distanz in *zām*	Distanz in Graden	B	L	B	L	Distanz in Graden	**Abweichung**
1	Atoll von Muqbil (Mareek?)	Mākūfānǧ (Meulaboh)	4°24'	234	50°09'	3°46'	47°15'	4°10'	96°09'	48°54'	**+1°15'**
2	Murūtī	Fanṣūr (Barus)	2°47'	248	53°09'	(2°47')	46°21'	2' 02'	98°20'	51°59'	**+1°10'**
3	Barāwa	Priaman	1°10'	264	56°34'	1°02'	44°02'	s 36'	100°	55°58'	**+0°36'**
4	Malawān (Imāma)	Indrapura	s 0°30'	278	59°34'	s 0°03'	42°44'	s 2°02'	100°56'	58°12'	**+1°22'**
5	Kitāwa (Pale Insel)	Sundabari (Sillebar)	s 2°07'	292	62°34'	s 2°04'	41°05'	s 4°10'	102°20'	61°15'	**+1°19'**
6	Mombasa	Sunda (Šūnda)	s 3°44'	306	65°34'	s 4°04'	39°40'	s 6°	106°	66°20'	**-1°14'**
7	al-Ǧazīra al-Ḫaḍrā' (Pemba)	Bali	s 5°21'	317	67°56'	(s 5°21')	39°44'	s 8°	115°	75°16'	**-7°20'**

Distanzen der Orte mit korrespondierenden Breitengraden an der Ostküste von Afrika und Java/Sumatra nach Sulaimān al-Mahrī und nach der modernen Karte.

«Um die geographie-, kartographie- und nautikhistorische Bedeutung der von al-Mahrī verzeichneten Distanzen richtig zu begreifen, müssen wir ihre Abweichungen von den betreffenden heutigen Werten in Betracht ziehen (vgl. die nebenstehende Abb.).

(Entfernungen zwischen Afrika und Südostasien nach Sulaimān al-Mahrī, bezogen auf moderne Karten)

[17] F. Sezgin, a.a.O., Bd. 11, S. 213-214.
[18] Ebd. Bd. 11, S. 215.

Die stärkste Abweichung (-7°20') kommt uns heutzutage zu groß vor; die zweitgrößten (1°22' und 1°21') stören auch beim ersten Betrachten den hohen Grad der Qualität der übrigen besseren Werte. Es handelt sich hier jedoch nicht um eine Genauigkeit, wie man sie in einer dichtbesiedelten Region aufgrund von Vermessungen erreichen könnte oder durch Erfahrungswerte nach tausenden Schiffahrten entlang einer Küstenstrecke, sondern um die Werte von Strecken von ca. 5500-8000 Kilometern Länge auf offenem Meer, das heißt von transozeanischen Längendifferenzen, die 50°-75° betragen. Die Daten erfassen den Indischen Ozean zwischen 4°24' nördlicher und 5°21' südlicher Breite und geben uns rein nautisch-mathematisch ermittelte Koordinaten eines großen Teils dieses Ozeans. Die Zahlen kann man schwerlich als Zufallsresultate betrachten, zumal es sich um Längendifferenzen handelt, deren Richtigkeitsgrad oder Abweichungsquoten sich erst nach Jahrhunderten herausgestellt haben. Ihre jüngsten Vertreter lassen uns nicht im Unklaren über ihre Methoden. Sie kennen die herkömmliche astronomische Methode der Ermittlung von Längendifferenzen aufgrund von Mondfinsternissen, und sie kennen das Verfahren der Gissung der Seefahrer, verlassen sich jedoch nicht auf diese Verfahren und deren Ergebnisse. Sie waren nicht nur als Navigatoren für den Kurs der Schiffe verantwortlich, sondern kamen gleichzeitig als vorzügliche Kenner der im islamischen Kulturkreis gepflegten Astronomie, Mathematik u.a. zu einer eigenen Methode der Triangulation, bei der zwei der Schenkel des Dreiecks einerseits longitudinal mit terrestrischen Zielen und andererseits mit Zirkumpolarsternen latitudinal in Verbindung gebracht wurden. Sie wußten ihren Abstand vom Äquator aus der Polhöhe und ihre Himmelsrichtung aufgrund bestimmter Fixsterne zu ermitteln (was sie im Laufe der Zeit mittels eines weiterentwickelten Kompasses erfüllen konnten). Damit war die Bedingung erfüllt, zur Triangulation überzugehen.»[19]

Nach diesen knappen Ausführungen über das Wesen der arabischen Nautik im Indischen Ozean seien einige Worte über ihre Vertreter gesagt. Wir erfahren über die arabische Nautik durch die Werke ihrer beiden größten Exponenten Ibn Māǧid und Sulaimān al-Mahrī aus der ersten Hälfte des 9./15. und dem ersten Viertel des 10./16. Jahrhunderts. Die neuere Forschung hat zunächst an Hand von Auszügen aus ihren Werken im *Kitāb al-Muḥīṭ* des osmanischen Admirals Sīdī ʿAlī (gest. 970/1562), die seit 1834 teilweise zugänglich gemacht und untersucht wurden, etwas von ihrer Bedeutung geahnt. Die Entdeckung der erhaltenen Originalschriften, ihre Publikation, teilweise Übersetzung und Untersuchung erfolgte erst im Laufe des 20. Jahrhunderts. Nicht oft, aber doch hin und wieder erfahren wir in diesen Schriften auch etwas über die Arbeiten ihrer Vorgänger. Ibn Māǧid erwähnt Werke mehrerer Nautiker, die im 4./10. Jahrhundert gewirkt haben und die er als Verfasser bezeichnet, welche noch ohne eine bestimmte Systematik gearbeitet haben.[20] Nach Ibn Māǧid, dem älteren der beiden, ist die Nautik «eine theoretische und empirische, keine nur papierener Tradition verhaftete Wissenschaft, *ʿilm ʿaqlī taǧrībī lā naqlī*. Er teilt die Seefahrer in drei Gruppen: Die ersten sind die einfachen Lotsen, mit deren Fahrt es einmal klappt, ein andermal nicht, deren Antwort manchmal richtig ist, manchmal falsch. Dies seien diejenigen Seefahrer, welche die Bezeichnung *muʿallim* nicht verdienen. Die Angehörigen der zweiten Kategorie, die durchschnittlichen *maʿālima*, sind durch die Größe und den Umfang ihrer Kenntnisse bekannt; sie sind geschickt, beherrschen die Routen der Orte, zu denen sie fahren, doch geraten sie nach ihrem Tod in Vergessenheit. Die dritte Klasse von Seefahrern ist die höchste. Wer ihr angehört, ist sehr bekannt, beherrscht alle Seeoperationen und ist ein Gelehrter, der ‹Schriften verfasst›, von denen man zu seiner Zeit und danach Nutzen hat. Ibn Māǧid legt die Vorschriften fest, die ein Kapitän bei seiner Fahrt zu berücksichtigen hat, und die von ihm zu erwartenden moralischen Prinzipien.»[21]

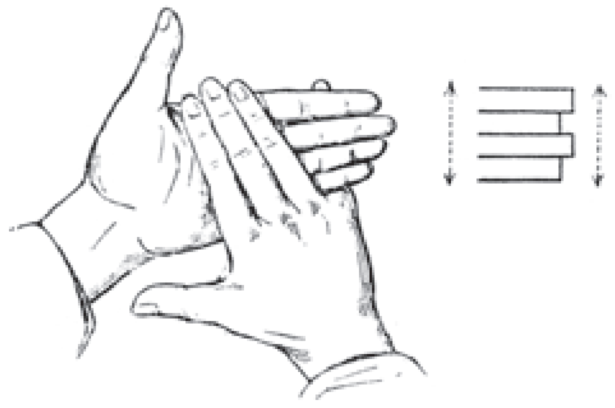
«Nach Sulaimān al-Mahrī besteht das Wesen der nautischen Wissenschaft (*aṣl ʿilm al-baḥr*) aus Theorie (*naẓar al-ʿaql*) und Empirie (*taǧriba*). Dies seien die beiden Grundlagen; was erprobt wird und mit der Theorie übereinstimmt, ist richtig und vertrauenswürdig ... Das Fach unterliegt nach Sulaimān al-Mahrī, besonders im Bereich der Einzelheiten, dem Entwicklungsgesetz (*qānūn at-tadrīǧ fi l-*

[19] F. Sezgin, a.a.O., Bd. 11, S. 216-218.

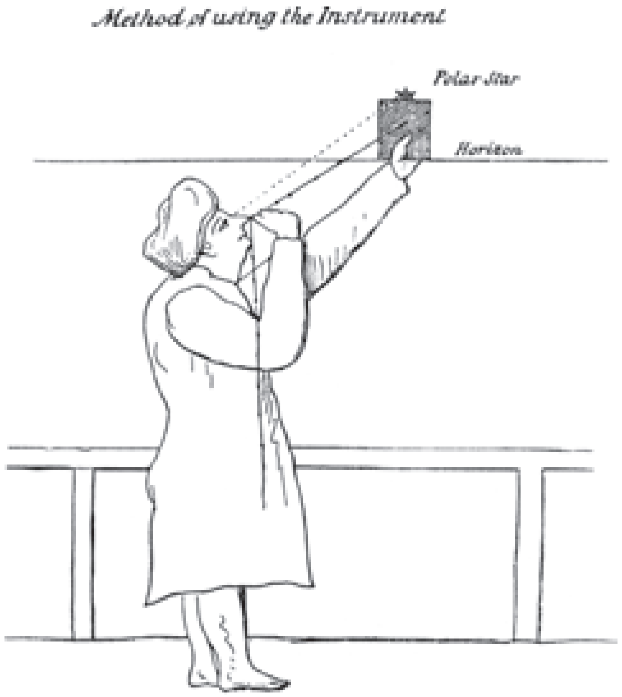
[20] Ebd. Bd. 11, S. 179.
[21] Ebd. Bd. 11, S. 177.

far'īyāt), während die Grundsätze für annähernd richtig betrachtet werden können (*ma'a ṣiḥḥat qarīnat al-aṣl*). Ibn Māğid ist überzeugt davon, daß er selbst im Fach vieles entwickelt habe, daß er aber in seinen früheren Arbeiten auch korrekturbedürftige Dinge zu Papier gebracht habe.»[22]

Beide Nautiker waren mit vielen Wissenschaften ihres Kulturkreises vertraut und beherrschten vor allem die Astronomie, die für ihr spezielles Fach unverzichtbar war.[23] Sie kannten und besaßen auf ihren Schiffen die astronomischen Hauptinstrumente zur Höhenmessung, wie das Astrolabium und den Quadranten und arbeiteten gegebenenfalls damit.[24] Die ihnen geläufigeren und für sie zweckmäßigeren Instrumente waren jedoch das in Europa als Jakobsstab und, vor allem bei portugiesischen Seefahrern, als *balestilha* bekannte Instrument und der Kompaß. Das erstere war dank seiner leichten Benutzbarkeit zur Ermittlung von Breiten nach der Polhöhe ein geeignetes Instrument für die Seefahrer des Indischen Ozeans bei der Hochseenavigation. Das Astrolab war dagegen eher zum Gebrauch auf dem Festland geeignet, zur Messung der Breitengrade von Orten, während man an Bord eines schwankenden Schiffes bei Höhenmessungen mit dem Astrolab mit Fehlern bis 5° oder 6° rechnen mußte. Das nach *iṣba'* (Daumenbreite) eingerichtete Instrument hieß bei früheren arabischen Nautikern *ḫašabāt* (Bretter) oder *ḫaṭabāt* (Holzplatten). Die Zahl der Platten war nach Angaben von Ibn Māğid vorzugsweise zwölf, und es gab sie in größeren, mittleren und kleineren Formaten. In späteren Jahrhunderten wurde das Gerät *kamāl* (das vollkommene) genannt.[25]



Bestimmung eines *ḏubbān* = 4 *iṣba'* mit den Fingern der Hand (nach Léopold de Saussure).



Ein traditionelles Gerät zur Bestimung der Breite im Indischen Ozean (nach H. Congreve).[26]

[22] F. Sezgin, a.a.O., Bd. 11, S. 178.
[23] Ebd. Bd. 11, S. 180-181.
[24] Ebd. Bd. 11, S. 225-227.
[25] Ebd. Bd. 11, S. 230; s. Léopold de Saussure, *Commentaire des Instructions nautiques de Ibn Mājid et Sulaymān al-Mahrī*, in: Gabriel Ferrand, *Introduction à l'astronomie nautique arabe*, Paris 1928, S. 129-175, bes. S. 162 (Nachdr. Islamic Geography Bd. 21, Frankfurt 1992, S. 191-237, bes. S. 224).

[26] H. Congreve, *A Brief Notice on Some Contrivances Practiced by the Native Mariners of the Coromandal Coast in Navigation, Sailing, and Repairing their Vessels*, in: Gabriel Ferrand, *Introduction à l'astronomie nautique arabe*, Paris 1928 (Nachdr. Frankfurt 1986), S. 26; F. Sezgin, a.a.O., Bd. 11, S. 230.

In diesem Zusammenhang zitiere ich den bekannten Bericht aus der *Asia* des portugiesischen Historikers und Geographen João de Barros (1490-1570) über das Zusammentreffen Vasco da Gamas mit dem muslimischen Seemann Malemo (*muʿallim*, «Meister») Caná aus Gujerat an der Südostküste Afrikas. Der Bericht gibt auch Aufschluß über den Charakter der arabischen graduierten Karten des Indischen Ozeans:

«Unter ihnen kam auch ein Maure, ein Guzarate von Geburt, Namens Malemo Caná, welcher eben sowohl wegen des Vergnügens, das er im Verkehr mit den Unseren hatte, als um dem Könige zu gefallen, der einen Lootsen für sie suchte, einwilligte, mit ihnen zu fahren. Mit der Kenntnis dieses Mannes aber war Vasco da Gama, als er mit ihm in Verkehr trat, sehr wohl zufrieden, besonders als er ihm eine Karte der ganzen Küste von Indien zeigte, die nach der Art der Mauren, nämlich in sehr kleine Meridiane und Parallelkreise, ohne sonstige Angabe der Windrose, eingeteilt war. Da nun das Quadrat jener Meridiane und Parallelkreise sehr klein war, fand sich die Küste nach jenen beiden Strichen von Nord nach Süd und Ost nach West sehr genau angegeben, ohne jene Vervielfältigung der Winde des gewöhnlichen Compasses unsrer Karte, welche den anderen zur Grundlage dient, zu enthalten. Und als ihm Vasco da Gama das große hölzerne und andere, metallene Astrolabe zeigte, mit welchen er die Sonnenhöhe aufnahm, wunderte sich der Maure gar nicht darüber, sondern sagte, einige Steuerleute (Piloten) auf dem Rothen Meer bedienten sich dreieckiger Instrumente von Blech und Quadranten, mit denen sie die Höhe der Sonne und namentlich des Sterns aufnähmen, den sie besonders zur Schiffahrt brauchten, er aber und die Seeleute von Cambaya und ganz Indien nähmen, weil ihre Schiffahrt sich sowohl nach gewissen Sternen, von Nord nach Süd, als auch nach anderen großen Sternen, welche von Ost nach West über den Himmel ziehen, richtete, ihre Entfernung nicht mit ähnlichen, sondern mit einem anderen Instrumente auf, dessen er sich bediente. Dieses zeigte er ihm auch sogleich, und es bestand aus drei Platten.»

«Und weil wir in unserer Geographie in dem Capitel der nautischen Instrumente von der Gestalt und dem Gebrauch derselben handeln, so genüge es hier zu wissen, daß sie ihnen zu der Operation dienen, zu welcher man bei uns ein Instrument braucht, das die Seeleute den Jakobsstab nennen, und von welchem gleichfalls in dem angezogenen Capitel, so wie auch von seinen Erfindern die Rede sein wird.»[27]

Ich komme nun zum zweiten Hauptinstrument der Nautik im Indischen Ozean, dem Kompaß, einer der oben (S. 37 ff.) erwähnten grundlegenden Komponenten der Hochseenautik. Nach dem Eindruck, den die Werke von Ibn Māǧid und Sulaimān al-Mahrī vermitteln, baute diese spätestens im 9./15. Jahrhundert und wahrscheinlich schon früher auf einem Kompaßsystem auf. Der Kompaß hat das ältere Orientierungssystem nach Fixsternen nicht verdrängt, sondern vervollkommnet und erweitert. Die 32er-Teilung der Horizontebene des alten Systems wurde beibehalten und durch die Teilung in 360 Grad ergänzt. Nautiker des Indischen Ozeans nannten die Bögen der 32er-Teilung des Horizontkreises, die zugleich den Kurswinkel anzeigen, *ḫann* (Plural *aḫnān*). In diesem Wort finden wir den Ursprung des in europäischen Sprachen in verschiedenen Formen auftretenden Begriffes *rumb*.[28] Den Kompaß nannte man *ḥuqqa* («Büchse») oder *bait al-ibra* («Nadelhaus»), die Nadel selbst *ibra* oder *samaka* («Fisch»).[29] Aus nicht ganz sicheren Äußerungen können wir schließen, daß mindestens die beiden großen Nautiker die Deklination der Magnetnadel kannten.[30] Die Annahme wird dadurch gestützt, daß der osmanische Admiral Sīdī ʿAlī (gest. 970/1562), der die Werke der beiden Nautiker zusammengefaßt hat (s.o.S. 41), sich seinerseits in einem Traktat über eine spezielle Sonnenuhr (*dāʾire-yi muʿaddil an-nahār,* s.o. II, 158 f.) mit der Abweichung vertraut zeigt und sie für İstanbul mit 7° bestimmt (ebd. S. 159).

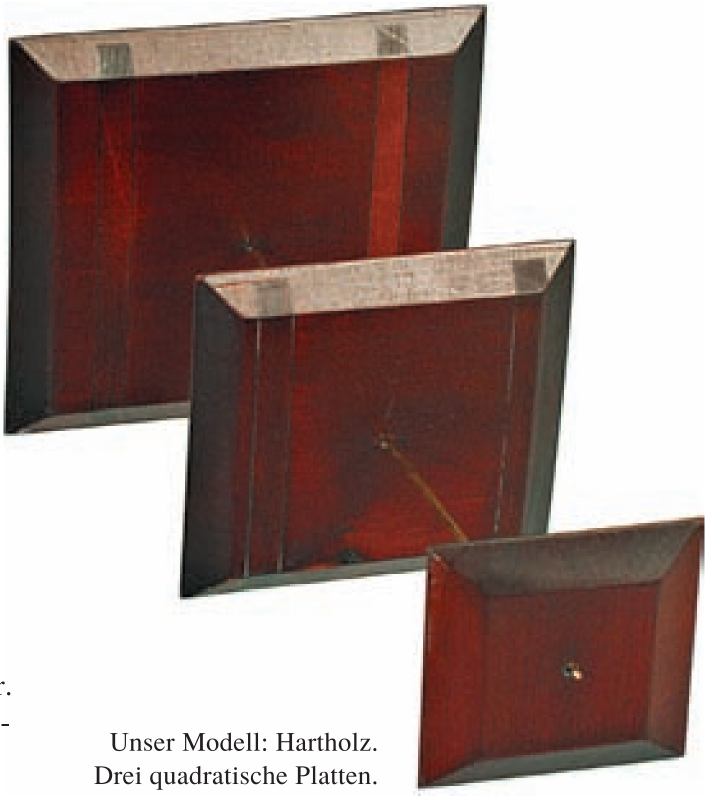
Mehr als über die Formen unterrichten uns die arabischen Nautiker über die Verwendungsarten des

[27] J. de Barros, *Asia*, Década I, Liv. IV, Cap. VI (Ed. Lissabon 1946, S. 151-152); *Die Asia des …, in wortgetreuer Übertragung* von E. Feust, Nürnberg 1844 (Nachdr. in: The Islamic World in Foreign Travel Accounts, Frankfurt 1995, Bd. 53), S. 130; vgl. J.-T. Reinaud, *Géographie d'Aboulféda*, Bd. 1: *Introduction générale*, Paris 1848 (Nachdr. Islamic Geography Bd. 277), S. 439-440; A.E. Nordenskiöld, *Periplus*, Stockholm 1897, S. 147; G. Ferrand, *Introduction à l'astronomie nautique arabe*, a.a.O. S. 192-194; F. Sezgin, a.a.O., Bd. 11, S. 227-228.
[28] s. F. Sezgin, a.a.O., Bd. 11, S. 234.
[29] Ebd. Bd. 11, S. 234.
[30] Ebd. Bd. 11, S. 236.

Kompasses. Die Informationslücke über die Formen wird indessen weitgehend von portugiesischen Quellen geschlossen. Der älteste portugiesische Bericht über den im Indischen Ozean verwendeten Kompaß geht auf Vasco da Gama zurück. Überrascht erzählt er, daß man dort «Magnetnadeln nach Art der Genuesen» neben Quadranten und Seekarten verwende.[31] Diese Angabe ist für uns deshalb besonders wichtig, weil wir daraus ersehen können, daß der fortgeschrittene Typ Kompaß aus dem Indischen Ozean Europa schon vor der ersten portugiesischen Expedition erreicht hat. Einen solchen Kompaß trug der Genuese Christoph Kolumbus mit sich.[32] Die ausführlichste Beschreibung der im Indischen Ozean verwendeten drei Kompaßtypen gibt uns der portugiesische Historiker Hieronimus Osorius (1506-1580). Er informiert uns sogar über ihre unterschiedlichen Entwicklungsstufen.[33] Seine Angaben ermöglichten uns eine vollständige Rekonstruktion aller drei Typen (s.u.S. 61 ff.). Der entwickeltste der drei ist derjenige, der in Europa bis zum 19. Jahrhundert in Umlauf blieb. Sein Hauptcharakteristikum besteht darin, daß sich die gesamte 32-teilige Kompaßscheibe, auf später «kardanisch» genannte Art aufgehängt, mit der von unten daran befestigten Magnetnadel dreht. Bei dem noch weiter entwickelten Typ, den Ibn Māǧid als eigene Leistung bezeichnet, bewegt die Magnetnadel nicht mehr die Kompaßscheibe von unten her, sondern dreht sich frei schwebend über ihr[34] (s.u.S. 65).
Wir kommen nun dazu, kurz von der noch ausstehenden dritten Komponente der Navigation auf hoher See zu sprechen, von der graduierten Karte, ohne die eine Positionsbestimmung nicht möglich wäre. Auf die Behandlung dieser Frage in der *Geschichte des arabischen Schrifttums*[35] verweisend und ohne die Argumente hier zu wiederholen, referiere ich das dort erzielte Ergebnis, daß im Rahmen des Indischen Ozeans ein hochqualifizierter Typus graduierter Seekarten entwickelt wurde, der nur als Werk eines über die Jahrhunderte hin währenden Zusammenspiels zwischen einer vertrauten mathematischen Geographie und einer weit entwickelten astronomischen Nautik verstanden werden kann. Nicht nur Angaben arabisch-türkischer Quellen, sondern vielmehr Zeugnisse portugiesischer und weiterer europäischer Seefahrer und Untersuchungen des erhaltenen Kartenmaterials vermitteln diesen Eindruck. Die Portugiesen haben nicht nur eine Fülle weit entwickelten kartographischen Materials, sondern auch eine fortgeschrittene astronomische Nautik vorgefunden. Darüber hinaus wurden die Portugiesen nach eigenen Angaben durch die Karten, die sie aus jenen fernen Gebieten erreichten, zu ihren Expeditionen angeregt und ermutigt. Wenn wir auf einer vermutlich aus den Jahren 1519-1520 stammenden, mit Längen- und Breitengraden versehenen portugiesischen Weltkarte (die Jorge Reinel zugeschrieben wird) feststellen[36], daß die Strecke zwischen der Ostküste Afrikas und der Westküste Sumatras am Äquator 57° beträgt und vom modernen Wert (56°50') nur 10' abweicht sowie andererseits vom Wert des arabischen Nautikers Sulaimān al-Mahrī nur 20' entfernt ist, dürfen wir voraussetzen, daß dem portugiesischen Kartenmacher eine Vorlage zur Verfügung gestanden haben muß, die, zumindest im Hinblick auf den Indischen Ozean, nur dort, und nach Jahrhunderte andauernder Tätigkeit vor Ort entstanden sein kann.

[31] F. Sezgin, a.a.O., Bd. 11, S. 307.
[32] Ebd. Bd. 11, S. 252-253.
[33] Ebd. Bd. 11, S. 253-256.
[34] Ebd. Bd. 11, S. 261.
[35] Bd. 11, S. 265-268, 323-336.
[36] Ebd. Bd. 11, S. 398-400.

Ein
Meßinstrument
zur Ermittlung von Höhen auf See



Unser Modell: Hartholz. Drei quadratische Platten. Faden mit Knoten in regelmäßigen Abständen. (Inventar-Nr. C 2.08)

Daß die Seefahrer des Indischen Ozeans die Instrumente, die den Astronomen zur Höhenmessung auf dem Festland dienten, auf dem Boden schwankender Schiffe als nachteilig empfanden, geht unter anderem aus einem Bericht des portugiesischen Historikers João de Barros hervor. Er sagt, Vasco da Gama habe bei seiner ersten Expedition seinem muslimischen Lotsen «das große hölzerne und andere, metallene Astrolabe» gezeigt, «mit welchen er die Sonnenhöhe aufnahm.» Der «Maure» habe sich gar nicht darüber gewundert, «sondern sagte, einige Piloten auf dem Rothen Meer bedienten sich dreieckiger Instrumente von Blech und der Quadranten, mit denen sie die Höhe der Sonne und namentlich des Sternes aufnähmen, den sie besonders zur Schiffahrt brauchten, er aber und die Seeleute von Cambaya und ganz Indien nähmen, weil ihre Schiffahrt sich sowohl nach gewissen Sternen, von Nord nach Süd, als auch nach anderen großen Sternen, welche von Ost nach West über den Himmel ziehen, richtete, ihre Entfernung [nach Winkeln] nicht mit ähnlichen, sondern mit einem anderen Instrumente auf, dessen er sich bediente. Dieses zeigte er ihm auch sogleich, und es bestand aus drei Platten.»[1] Dieses Gerät, das bei den Portugiesen unter dem Namen *balestilha* bekannt wurde, hieß bei den Nautikern des Indischen Ozeans *ẖašabāt* oder auch *ḫaṭabāt*.[2] (s.o.S. 42)

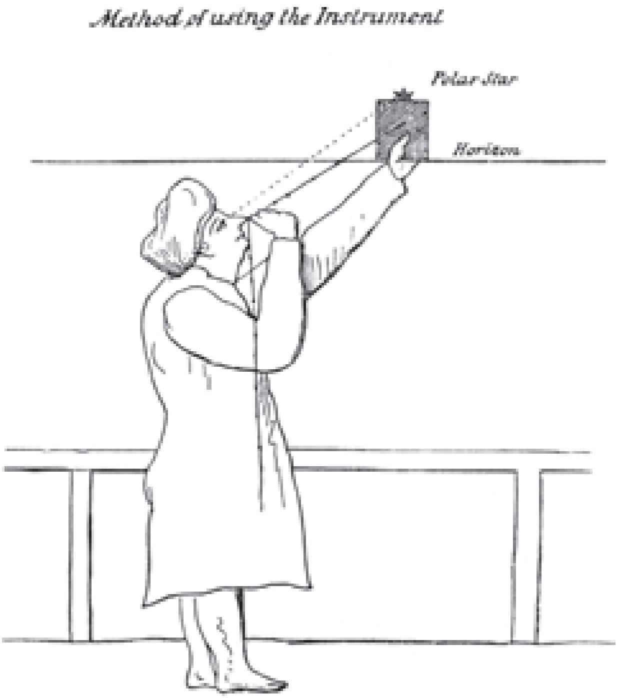
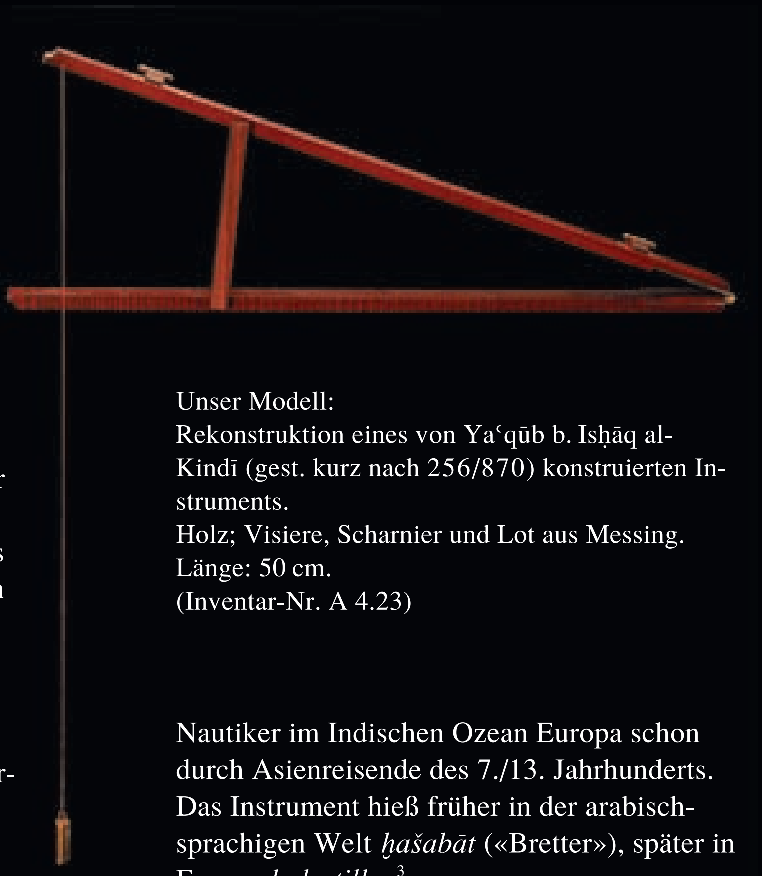


Illustration zum Gebrauch des Instruments (nach H. Congreve, *A Brief Notice,* a.a.O., S. 230).

[1] F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 227.
[2] Ebd. S. 230.

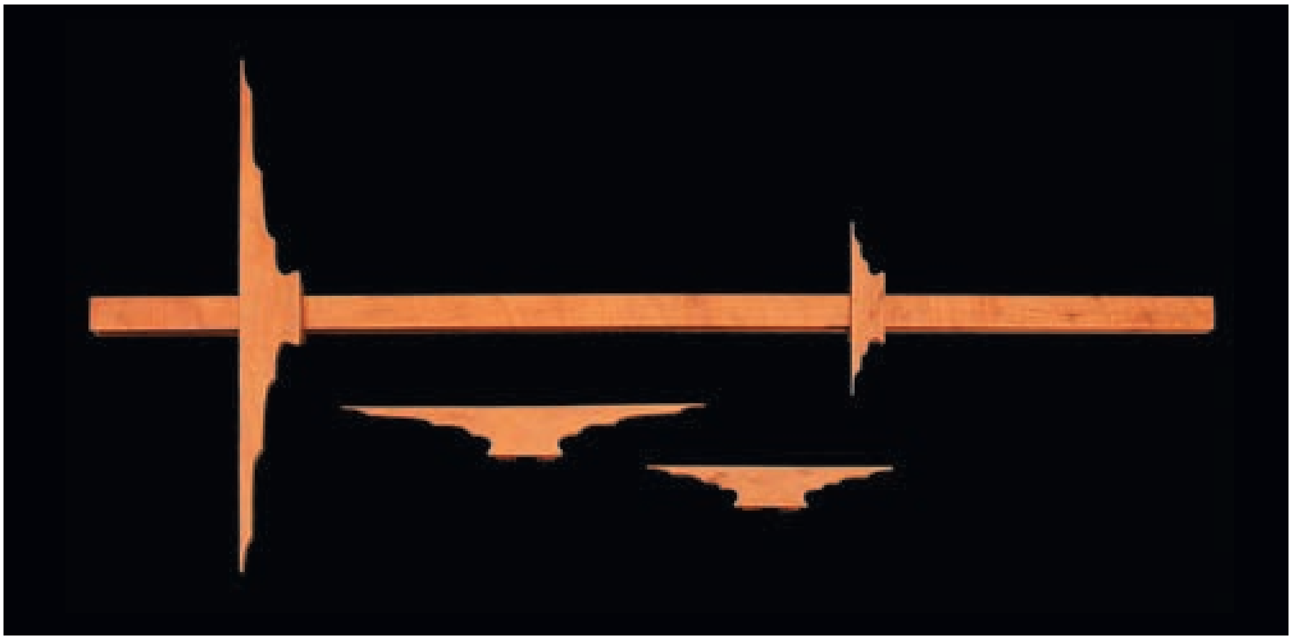
Jakobsstab



Unser Modell:
Rekonstruktion eines von Yaʿqūb b. Isḥāq al-Kindī (gest. kurz nach 256/870) konstruierten Instruments.
Holz; Visiere, Scharnier und Lot aus Messing.
Länge: 50 cm.
(Inventar-Nr. A 4.23)

Nach unserer heutigen Kenntnis der Geschichte der Astronomie und der nautischen Instrumente im arabisch-islamischen Kulturkreis erweist sich die landläufige Vorstellung, wonach der Jakobsstab eine Erfindung von Levi ben Gerson oder Johannes Regiomontanus gewesen sei, als unhaltbar.[1] Nicht unbeeinflußt von den Griechen bedienten sich die Araber schon im 3./9. Jahrhundert zur Ermittlung der Höhe von Gestirnen unter anderem eines Instrumentes, das *ḏāt aš-šuʿbatain* («Das mit den beiden Schenkeln») hieß. Die Vermutung dürfte berechtigt sein, daß dieses Instrument in der islamischen Welt im Laufe der Zeit durch die weitere Entwicklung des Astrolabiums und die Erfindung neuer astronomischer Instrumente zur Beobachtung der Höhe von Gestirnen vom Festland aus von seinem Platz verdrängt wurde und größere Bedeutung an Deck schwankender Schiffe bei der Ermittlung der Polhöhen während der Seefahrt erlangte.
In diesem Zusammenhang ist es von besonderem Interesse zu sehen, daß Regiomontanus den Durchmesser des im Jahre 1472 erschienenen großen Kometen mittels eines Jakobsstabs gemessen hat, dessen Querstab in 210 Teile geteilt war. Von dieser Teilung des Kreises, die wir von den Nautikern des Indischen Ozeans her kennen, scheint Regiomontan vor den portugiesischen Expeditionen erfahren zu haben.[2] Allem Anschein nach erreichte die Kenntnis dieses bevorzugten Instrumentes der Nautiker im Indischen Ozean Europa schon durch Asienreisende des 7./13. Jahrhunderts. Das Instrument hieß früher in der arabischsprachigen Welt *ḫašabāt* («Bretter»), später in Europa *balestilha*.[3]
«Die Schenkel drehen sich um eine Achse und längs ihrer visiert man die beiden Gegenstände an, deren Winkelabstand man bestimmen will. Man mißt dann mittelst einer Schnur den Abstand zwischen den freien Enden der Schenkel, d.h. die doppelten Sinusse des halben Winkels».[4]

[1] Zur Diskussion der Frage und Literatur s. F. Sezgin, *Qaḍīyat iktišāf al-āla ar-raṣadīya «ʿaṣā Yaʿqūb»*, in: Zeitschrift für Geschichte der arabisch-islamischen Wissenschaften (Frankfurt) 2/1985/arab. Teil 7-30.
[2] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Band 11, S. 303-304.
[3] s. F. Sezgin, a.a.O., Bd. 12, S. 227-232, 302-306; ders., *Qaḍīyat iktišāf al-āla ar-raṣadīya*, a.a.O.
[4] Eilhard Wiedemann (unter Mitwirkung von Th.W. Juynboll), *Avicennas Schrift über ein von ihm ersonnenes Beobachtungsinstrument*, in: Acta orientalia (Leiden) 5/1926/81-167, bes. S. 137-138 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 2, S. 1110-1203, bes. S. 1173-1174); E. Wiedemann, *Über eine astronomische Schrift von al-Kindî* (Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften XXI.1), in: Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 42/1910/294-300 (Nachdruck in: *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte*, Bd. 1, S. 660-666).



Jakobsstab

Unser Modell:
Holz, Länge: 50 cm.
Vier auf dem Stab bewegliche Visierlineale.
Gradeinteilung auf dem Stab.
(Inventar-Nr. A 4.22)

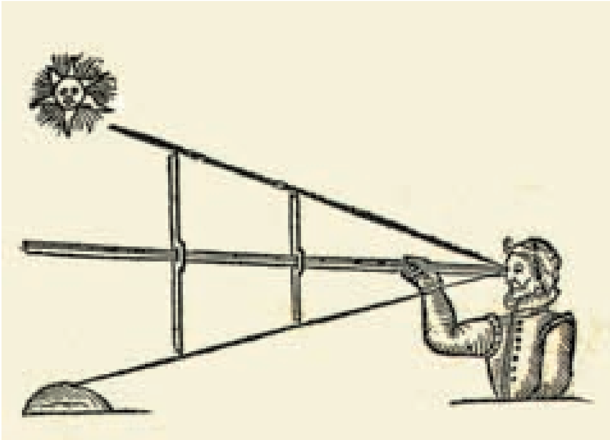
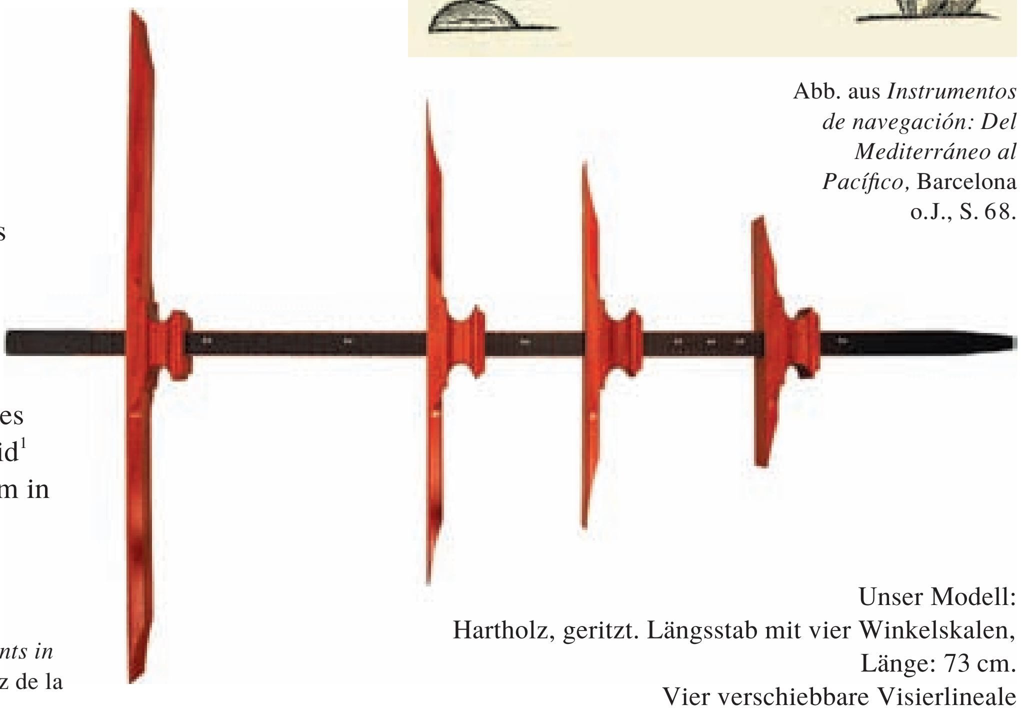


Abb. aus *Instrumentos de navegación: Del Mediterráneo al Pacífico,* Barcelona o.J., S. 68.

Ein weiterer Jakobsstab

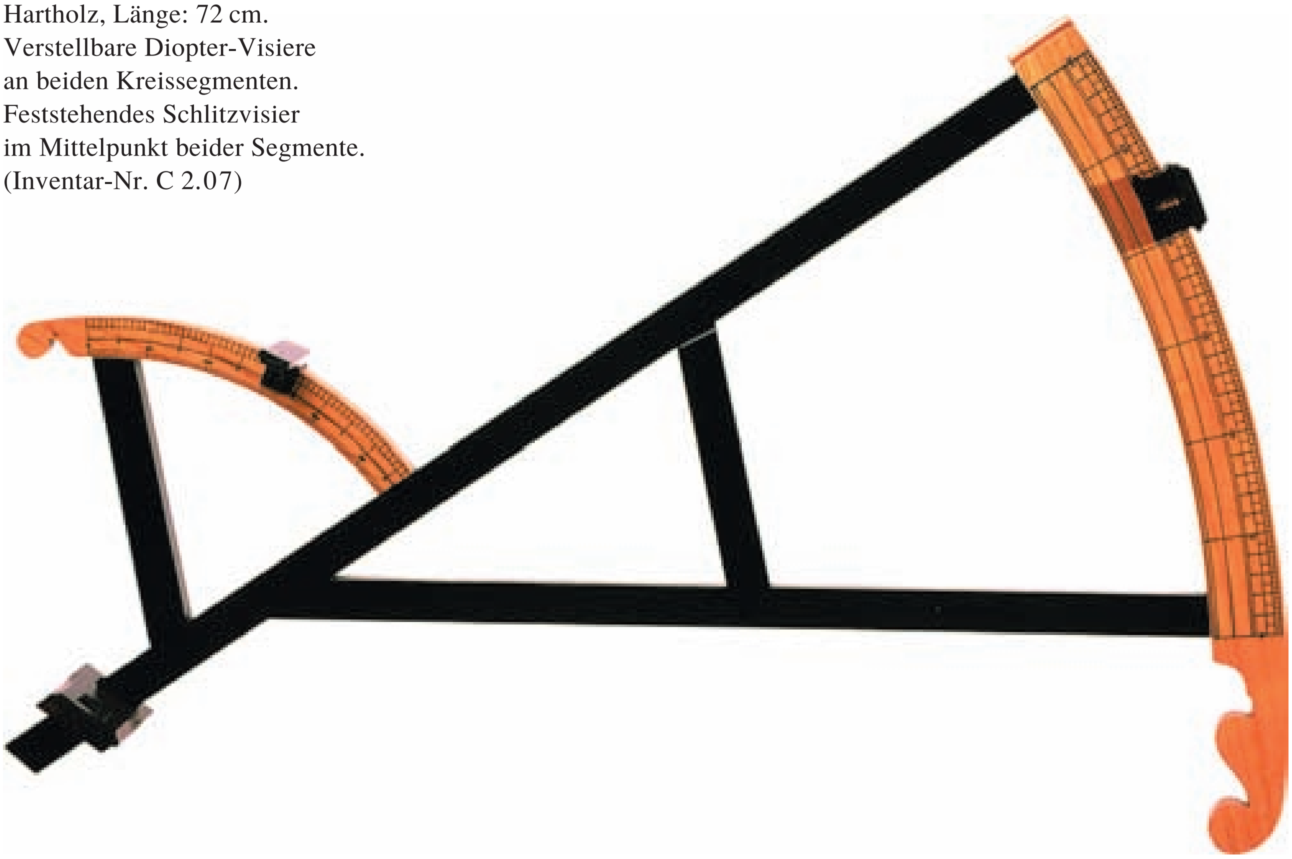
Diese Form ist durch mehrere Querstäbe aus Pflaumenholz gekennzeichnet.
Unser Modell ist angelehnt an Exemplare (*ballestilla*) des Museo Naval in Madrid[1] und des Museu Marítim in Barcelona.[2]



Unser Modell:
Hartholz, geritzt. Längsstab mit vier Winkelskalen, Länge: 73 cm.
Vier verschiebbare Visierlineale (48, 34, 26 und 18 cm).
(Inventar-Nr. C 2.06)

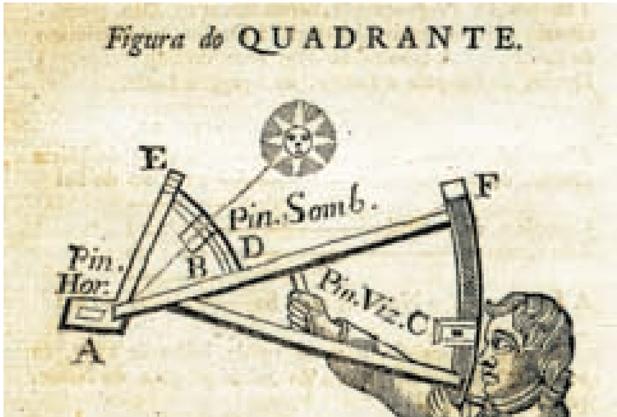
[1] s. *Astronomical Instruments in Medieval Spain*, Santa Cruz de la Palma 1985, S. 114-115.
[2] s. *La navegació en els velers de la carrera d'Amèrica*, Barcelona o.J., no. 52.

Hartholz, Länge: 72 cm.
Verstellbare Diopter-Visiere
an beiden Kreissegmenten.
Feststehendes Schlitzvisier
im Mittelpunkt beider Segmente.
(Inventar-Nr. C 2.07)



Davisquadrant

In der weiteren Entwicklung der Beobachtung mit dem Jakobsstab erwies sich nach der einfachsten Form des Querstabes (*backstaff*) diejenige mit beidseitigen Querstäben von John Davis (um 1607), die nach ihm Davisquadrant oder auch englischer Quadrant genannt wurde, als besonders praktisch.
Hier wird, mit der Sonne im Rücken, der Horizont über das größere Kreissegment so anvisiert, daß der Lichteinfall über das kleinere Segment mit diesem genau übereinstimmt. Durch Addieren der beiden auf den Segmenten abzulesenden Winkelangaben erhält man den Höhenwinkel des jeweiligen Gestirns.[1]
Unser Modell wurde angeregt von Exemplaren im Museo Naval, Madrid,[2] und im Museu Marítim, Barcelona[3].



Skizze aus A. Wakeley: *A Agulha de marear rectificada,* London 1762.

[1] s. Fr. Schmidt, *Geschichte der geodätischen Instrumente*, S. 347-348, Tafel XXII.
[2] s. *Instrumentos de navegación: Del Mediterráneo al Pacífico,* Barcelona o.J., S. 92-93.
[3] s. *La navegació en els velers de la carrera d'Amèrica*, a.a.O., no. 53.

Seeastrolab
von Vasco da Gama

Nach Angabe des portugiesischen Historikers João de Barros[1] (1552) hatte Vasco da Gama bei seiner ersten Expedition ein hölzernes Astrolabium an Bord seines Schiffes. Man hängte es «nach Art eines Kranes» auf drei Pfähle, und es hatte einen Durchmesser von 3 *palmo* (= ca. 66 cm).

Unser Modell:
Eichenholz, Durchmesser: 66 cm.
Stativ aus Ahorn, Höhe: 150 cm.
Drehbare Alhidade mit Diopter-Visierung.
Auf der Vorderseite sind zwei 90°-Skalen und die Jahreszahl eingraviert.
(Inventar-Nr. C 2.02)

[1] *Ásia*, Lissabon 1552, S. 280 (Dec. I, Livro IV, Cap. II, Ed. Lissabon 1946, S. 135), s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 285.

Unser Modell:
Messing, graviert.
Durchmesser: 18 cm.
Drehbare Alhidade mit
Diopter-Visierung.
Zur Höhenmessung dienen zwei
90°-Skalen, darunter ist eine Skala
für die Stundenwinkel eingraviert.
Gebaut von Eduard Farré-Olivé
(Barcelona).
(Inventar-Nr. C 2.04)

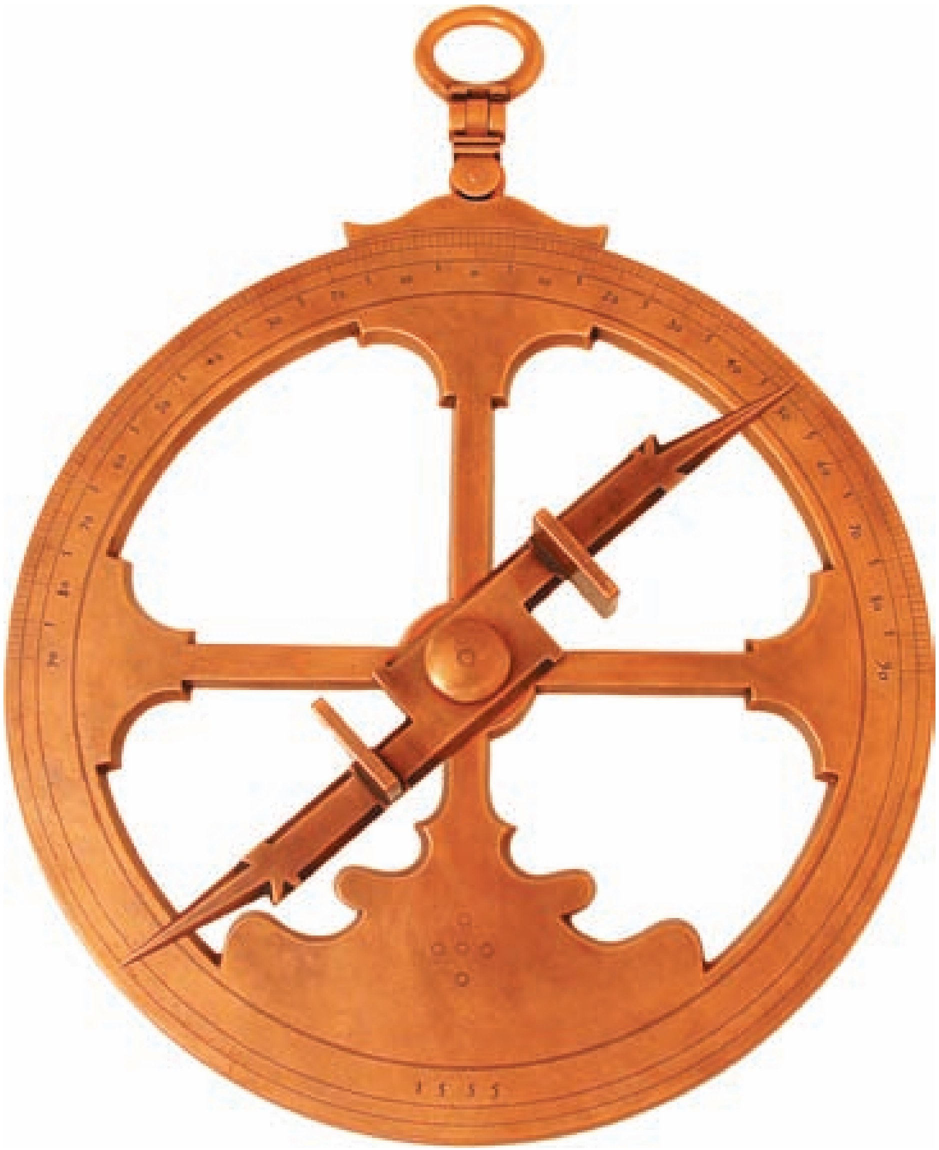
Seeastrolab

von Diogo Ribeiro

Ein aus einer Scheibe bestehendes Marineastrolabium (*astrolabio náutico*) hat der im Dienste Spaniens stehende Kartograph Diogo Ribeiro auf seinen Karten aus den Jahren 1525, 1527 und 1529 abgebildet.[1] Damit stand er wohl in der Tradition des im Jahre 420/1029 von Ibn aṣ-Ṣaffār in Toledo angefertigten Astrolabiums (s.o.II, 95).

Abb. aus
D. Ribeiro,
Mapamundi
(1529).

[1] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 11, S. 298-299; vgl. *Instrumentos de navegación: Del Mediterráneo al Pacífico,* Barcelona o.J., S. 57.



Seeastrolab

In Anlehnung an ein portugiesisches Exemplar aus dem 16. Jh. gebaut von Martin Brunold, Abtwil, Schweiz.

Unser Modell:
Messing, graviert.
Durchmesser: 20 cm.
Drehbare Alhidade mit Diopter-Visierung.
Auf der Vorderseite sind zwei 90°-Skalen und die Jahreszahl 1555 eingraviert.
(Inventar-Nr. C 2.01)

Nautischer Quadrant

Diesen Quadranten zur Positionsbestimmung auf See hat ebenfalls der Kartograph Diogo Ribeiro auf seinen drei Weltkarten aus den Jahren 1525, 1527 und 1529 abgebildet.

Unser Modell:
Messing, graviert.
Radius: 15 cm.
Diopter-Visierung seitlich.
Skala zur Höhenmessung, darunter Skala für die Vormittags- und Nachmittagsstunden.
Projektion der 12 Tierkreiszeichen über der 90°-Winkelanzeige.
Gebaut von Eduard Farré-Olivé (Barcelona).
(Inventar-Nr. C 2.05)

Einfache Sanduhr

Nachbau einer Sanduhr, wie sie in der Seefahrt verwendet wurde. Es gab Loggläser mit kurzer Laufzeit zur Bestimmung der Fahrtgeschwindigkeit und Stundengläser, die im Laufe einer Wache (1 Glas, ca. 2 Stunden) ausliefen.

Mundgeblasenes Glas
in einem Holzgestell.
Höhe: 26 cm.
(Inventar-Nr. C 2.09)

Vierfache Sanduhr

Da die Zeitmessung für navigatorische Zwecke sehr genau sein muß, wurden Chronometer bis in jüngere Zeit als Sets an Bord geführt. Auf diese Weise konnte man die Fehler ausmitteln.

Mundgeblasenes Glas.
Holzgestell.
Höhe: 26 cm.
(Inventar-Nr. C 2.10)

Caravelle

Unser Modell:
Holz; Beschläge und Nägel:
Messing; Takelage, laufendes
Gut: Garn. Ohne Segel.
Länge ü. A.: 50 cm.
(Inventar-Nr. C 3.02)

Die Caravelle war einer der wichtigsten Schiffstypen des 9./15. Jh. Sie ist wahrscheinlich aus maġribinischen Küstenfischereifahrzeugen hervorgegangen. Das von ‹Lateiner›-Segeln bestimmte Rigg (seit dem 2./9. Jh. belegt) erlaubt Manövrieren härter am Wind als Rahtakelung und ist – einer der wesentlichen Fortschritte in der Geschichte der Seefahrt – wahrscheinlich zumindest über arabische Vermittlung nach Westeuropa gelangt.

Vgl.: B. Landström, *Segelschiffe*, Gütersloh 1970, S. 100 f.
T. Tryckare (Ed.), *Seefahrt*, Bielefeld 1963.
P. Paris: *Voile latine? Voile arabe? Voile mystérieuse,* in: Hespéris 36/1949/69-96.

Unser Modell:
Holz, Beschläge und Nägel:
Messing; Takelage: Garn.
Ohne Segel.
Länge ü. A.: 143 cm.
(Inventar-Nr. C 3.02)

dāw

(Dhau, Dau)

ʿOmān. Für diesen den Seehandel im Indischen Ozean jahrhundertelang bestimmenden Schiffstyp ist u.a. das ‹Lateiner›- Rigg sowie die elastische Verbindung der Rumpfplanken mit Leinen charakteristisch.

Geschenk des Ministers für Religiöse und Stiftungsangelegenheiten des Sultanats ʿOmān, Herrn ʿAbdallāh b. Muḥammad as-Sālimī.

Kran
zum Heben eines Bootes

Das Bild gibt eine Darstellung aus dem Atlas des türkischen Admirals Pīrī Reʾīs (um 1525) wieder. Gezeigt wird eine Insel im Marmarameer mit einem Kloster, zu dem mit Hilfe eines Kranes ein Boot gehoben wird.[1]

Unser Modell:
Kunststein, gegossen.
Höhe: 50 cm.
Holzkran.
(Inventar-Nr. C 3.11)

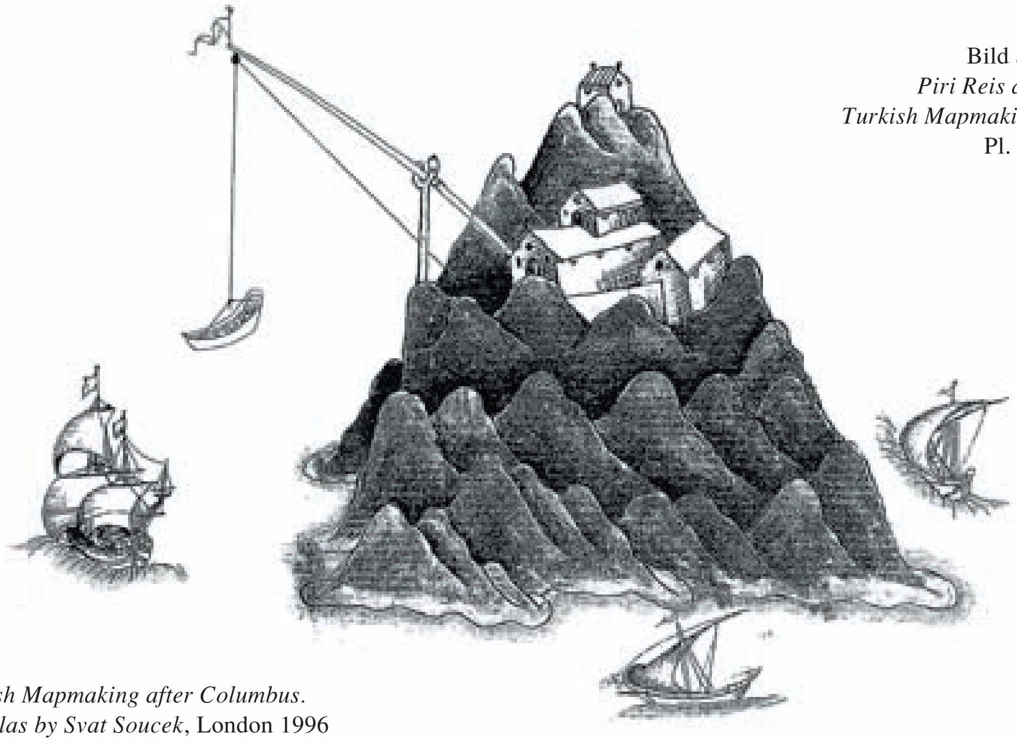


Bild aus
Piri Reis and Turkish Mapmaking,
Pl. 22.

[1] s. *Piri Reis and Turkish Mapmaking after Columbus. The Khalili Portolan Atlas by Svat Soucek*, London 1996 (= Studies in the Khalili Collection, vol. 2), Plate 22.

KOMPASSE

Fischkompaß

Allem Anschein nach hatte die herkömmlich im arabisch-islamischen Kulturkreis bekannte Kompaßnadel entweder die Form eines magnetisierten Fisches oder sie bestand aus einem anderen magnetisierten Gegenstand. Dieser wurde in ein mit Wasser gefülltes Gefäß gelegt und richtete sich in Nord-Südrichtung aus. Das Grundprinzip eines solchen Kompasses wird mit diesem Modell veranschaulicht.[1]

Messinggefäß, vergoldet.
Durchmesser: 21 cm.
Holzfisch mit magnetisiertem Eisenkern, Länge: 8 cm.
(Inventar-Nr. C 1.01)

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 240ff.

Schwimmkompaß

von al-Malik al-Ašraf

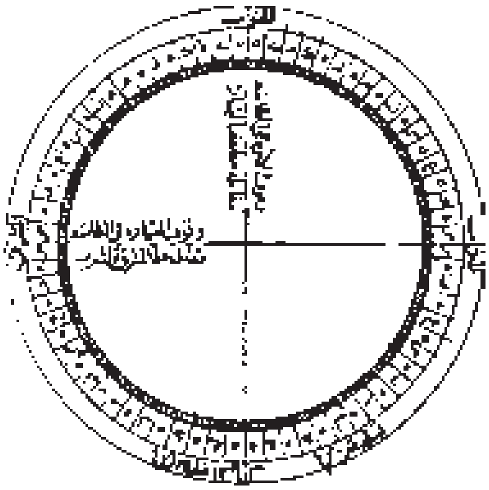
Gefäß vergoldet.
Durchmesser: 16 cm.
Skala: 360 Grad.
Eisennadel: 9 cm, rechtwinklig unter dem Holzschwimmer befestigt.
(Inventar-Nr. C 1.04)

Von dem jemenitischen Herrscher al-Malik al-Ašraf (schrieb um 690/1291), der sich mit Astronomie, Medizin und Genealogie befaßte (s.o. II, 105), ist uns ein Traktat mit der Beschreibung eines Kompasses erhalten. In dieser, *Risālat aṭ-Ṭāsa* betitelten Schrift beschreibt er einen Schwimmkompaß, der eine ziemlich hohe Entwicklungsstufe aufweist.

In einem runden, mit Wasser gefüllten Gefäß wird die Magnetnadel von einem leichten, mit Wachs oder Pech imprägnierten Stäbchen aus Feigenholz in der Art getragen, daß beide in ihrer Mitte in Kreuzform miteinander verbunden werden. Der Rand des Gefäßes ist in 4 × 90° geteilt, wobei jeder fünfte Grad durch einen Strich (insgesamt 72) hervorgehoben wird.

Seinem so ausgestatteten Kompaß will al-Malik al-Ašraf auch die Lösung der Azimutberechnung übertragen, die eine Aufgabe des Astrolabiums ist. Das gleiche werden wir beim Nadelkompaß von Peregrinus (s.u.S. 60) wiederfinden.[1]

Unser Nachbau stützt sich auf die Beschreibung und die Abbildung des Verfassers.



[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 247.

Schwimmkompaß
von Peregrinus

Unser Modell:
Runder Kasten
(Kork, Acryl, Kupfer),
Durchmesser: 15 cm.
Alhidade mit
Schattenstiften, drehbar.
Skala: 4 × 90°.
(Inventar-Nr. C 1.05)

In einem an seinen Freund Syger de Foucaucourt gerichteten Brief beschreibt der französische Gelehrte Petrus Peregrinus de Maricourt um 1270 zwei Kompaßtypen. Bemerkenswert ist, daß er diesen Brief vor der Stadt Lucera in Unteritalien schrieb, die Friedrich mit Arabern besiedelt hatte. Einer der beiden Kompaßtypen, die er beschreibt, ist «statt mit einer Nadel mit dem Magnetstein ausgerüstet. Dieser wird rund geschliffen und in einer runden Schachtel wasserdicht eingeschlossen. Auf den Deckel der Schachtel will man vier Quadranten mit je 90 Teilstrichen auftragen. Um dabei die Nordrichtung zu finden, legt man die Schachtel in ein Wasserbecken, über dem ein Faden in der Meridianrichtung gespannt ist. Sobald man die Teilscheibe fertig bezeichnet hat, legt man darüber eine Leiste, die um den Mittelpunkt des Kreises drehbar ist und an ihren Enden zwei aufrechte Stäbchen trägt. Nun kann man die Schachtel in jedes beliebige Wasser legen und braucht nur über die Stäbchen an den Enden der Leiste nach einem Gestirn zu zielen (so daß zum Beispiel bei der Sonne der Schatten des einen Stäbchens längs der Leiste fällt), um die augenblickliche Meridianabweichung des Gestirns und damit die Tages- oder Nachtzeit zu erfahren.»[1]

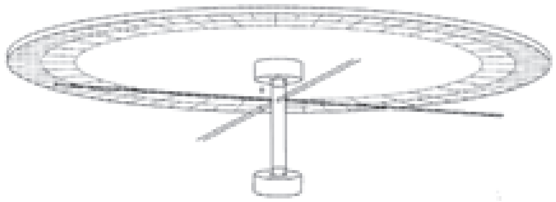
[1] H. Balmer, *Beiträge zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus*, Aarau 1956, S. 61; vgl. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 244-245.

Nadelkompaß

von Peregrinus

Der zweite von Petrus Peregrinus beschriebene Kompaß hat eine Magnetnadel, «die durch ein Löchlein mitten in einer senkrechten Achse gesteckt ist, während die Achse sich zwischen Boden und Glasbedeckung einer runden Schachtel in ihren Lagern dreht.»[1] Das bedeutet, daß Peregrinus die ganz modern anmutende Konstruktion, die wir im arabisch-islamischen Kulturkreis spätestens seit dem 15. Jahrhundert verfolgen können und bei der die Magnetnadel auf einer Spitze sitzt,[2] noch nicht kannte. Mittels einer Zielleiste überträgt Peregrinus, wie al-Malik al-Ašraf (s.o.S. 58), die Aufgabe der Azimutberechnung vom Astrolab auf den Kompaß.

Unser Modell:
Holzzylinder mit eingepaßter, beschrifteter Glasscheibe, Durchmesser: 10 cm.
Nadelkreuz aus Eisen, im Innern drehbar zwischen zwei Messingdornen aufgehängt.
Zielleiste mit Schattenstiften, drehbar an der Scheibe befestigt.
(Inventar-Nr. C 1.06)



[1] H. Balmer, *Beiträge zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus*, a.a.O. S. 51; vgl. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 242.
[2] F. Sezgin, a.a.O., Bd. 11, S. 242.

Unser Modell:
Zylinder aus Hartholz,
Durchmesser: 15 cm.
Glasdeckel mit
Kupferring befestigt.
Magnetische Eisennadel,
beweglich auf Messingdorn.
(Inventar-Nr. C 1.02)

Einer der vier Kompaßtypen der Nautiker des Indischen Ozeans

Der portugiesische Historiker Hieronimus Osorius (1506-1580) beschreibt mit bemerkenswerter Genauigkeit drei Kompaßtypen, die portugiesische Seefahrer bei ihren Begegnungen mit Nautikern des Indischen Ozeans kennengelernt haben. Der erste Typ mutet schon ganz modern an. Er besteht aus einer auf einen Stift gesetzten Nadel in einem runden, von einem Glasdeckel abgeschlossenen Gefäß. Mit den Worten von Osorius[1]:

«Sie benutzten bei der Seefahrt Navigationsinstrumente (*normae naviculariae*), die die Seefahrer ‹Nadeln› (*acus*) nennen. Deren Form ist bei denen, die von den Meeresregionen entfernt wohnen, unbekannt [und daher] möchte ich das, was fremd ist, erklären. Es ist ein ebenes und rundes Gefäß aus Holz, zwei oder drei Finger hoch. In der Mitte steht ein Stift, der oben zugespitzt ist und etwas kürzer als die Höhe des Gefäßes. Darauf wird eine *regula* gesetzt, die auf das sorgfältigste aus Eisen hergestellt wird, fein und schmal und [so] abgemessen, daß sie die Länge des Durchmessers des Gefäßes nicht überschreitet. Die Spitze des Stiftes geht durch die Mitte der *regula*, die unten konkav und nach oben gewölbt ist. [Die *regula*] ist dergestalt im Gleichgewicht aufgehängt, daß auf beiden Seiten [des Stiftes] gleiche [rechte] Winkel gebildet werden. Das ganze wird von einem Glasdeckel abgeschlossen, der mit einem Ring aus Kupferdraht umgeben ist, so daß die *regula* weder tanzen noch sich nach einer Seite neigen kann.»

[1] *De rebus Emmanuelis libri XII*, Köln 1574, Liber 1, p. 27; s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 253-254.

Ein weiter entwickelter

Kompaßtyp

aus dem Indischen Ozean

Unser Modell:
Holzzylinder in Glasgefäß,
Durchmesser: 16 cm.
Glasdeckel mit graviertem
Messingkranz.
Beschriftete Pappscheibe.
Darunter befestigt fischförmig
gebogener Eisendraht, drehbar
auf senkrechtem Messingdorn.
(Inventar-Nr. C 1.03)

Der zweite von dem portugiesischen Historiker Osorius beschriebene Kompaßtyp, den Vasco da Gama und weitere westliche Seefahrer bei ihren im Indischen Ozean heimischen Kollegen kennengelernt haben, war das Resultat weiterer Entwicklung[1]:

«Damit es noch einfacher werde und da durch den menschlichen Scharfsinn immer etwas zu dem, was es schon gibt, hinzuerfunden wird, erdachten sie eine andere Art des Instruments, mit dem sie noch genauer den Kurs halten konnten. Aus Eisendraht machen sie nun eine Figur mit gleichen Seiten, aber ungleichen Winkeln, in Form eines deformierten Rhombus. Daran kleben sie von oben und von unten je ein kreisrundes Stück Pappe (*carta*). Mit der hinzugefügten Kraft des Magneten richten sie die Figur so ein, daß einer der spitzen Winkel nach Norden, der andere nach Süden zeigt, und von den stumpfen Winkeln der eine nach Osten und der andere nach Westen. Die Länge des Durchmessers dieser Scheibe (*orbis*) überschreitet nicht die Länge der [rhombischen] Figur. Die Scheibe hat nun in ihrer Mitte einen kupfernen Nabel, der so gemacht ist, wie wir es von der Mitte der *regula* gesagt haben. Durch jenen Nabel wird die Spitze des Stiftes gesteckt und hält so die Scheibe in der Schwebe, die nicht nur wie jene *regula* funktioniert, über die wir gesprochen haben, sondern auch die Richtungen aller Winde, durch die die Schiffe getrieben werden, optisch zeigt. Auf der oberen Pappe werden nämlich Norden, Süden, Osten, Westen und die Richtungen dazwischen genauestens eingezeichnet (*describuntur*).»

Die Scheibe aus Pappe ist mit 32 Weisungspunkten im Abstand von 11°25' markiert, die die ungefähren Auf- und Untergänge von 15 Fixsternen und die beiden Pole anzeigen.

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 255.

Der nach dem nachträglich und zu Unrecht «kardanisch» genannten System aufgehängte

Kompaß

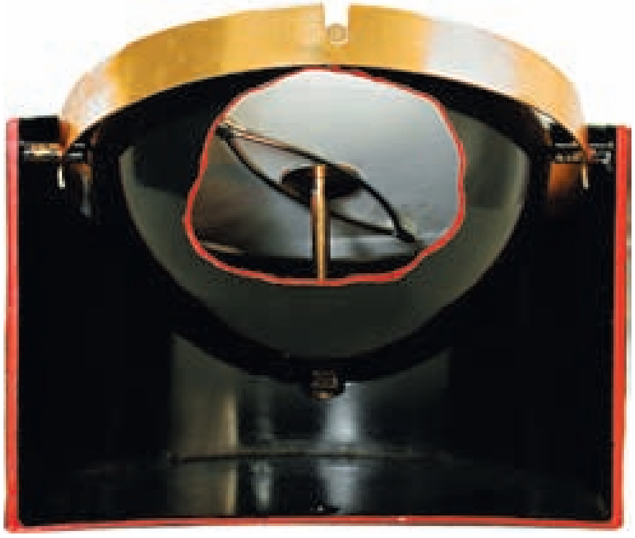
Unser Modell:
Zylinder aus Hartholz,
∅: 24 cm, Höhe: 18 cm.
Halbkugelförmige Kompaßdose,
«kardanisch», mittels eines
Kupferringes, aufgehängt.
Pappscheibe mit «Eisenfisch»,
drehbar gelagert auf einem Dorn,
von oben mit einer Scheibe
dicht verschlossen.
(Inventar-Nr. C 1.07).

Über die dritte und höchste Stufe der Entwicklung des Kompasses, die die portugiesischen Seefahrer im Indischen Ozean kennengelernt haben, unterrichtet uns der Historiker H. Osorius (1506-1580) folgendermaßen:

«Wenn das Instrument so eingerichtet ist, bleibt der störende Umstand bestehen, daß sich das Schiff im Seegang nach vorne oder nach hinten oder nach einer der beiden Seiten neigt, so daß jene (die Scheibe) absinkt und blockiert und nicht mehr in freier Bewegung nach Norden weisen kann. Damit dieses nicht mehr geschieht, hat man etwas äußerst Scharfsinniges erdacht: Das Gefäß *(vas)* selbst wird etwas unterhalb des oberen Randes mit einem kupfernen Ring eng umgeben. Auf beiden Seiten dieses Ringes wird ein Stab aus Stahl (? *virgula calybea ducta*) in die Öffnung eines anderen, größeren und äußeren Ringes, in einem angemessenen Abstand eingeführt. Beide Stäbe sind gleich und stehen einander so gerade gegenüber, daß, wenn man sie zu einem einzigen vereinen würde, dieser dem Durchmesser des ringförmigen Zwischenraumes entsprechen würde. Der äußere Ring läßt sich um diese beiden Stäbe wie um eine Achse drehen. Wiederum gehen von diesem äußeren Kreis in gleichem Abstand zwei gleiche Stäbe zu einer umgebenden runden Wanne *(alveolus orbiculatus)*, die alles einschließt. Die äußeren Stäbe sind den inneren gegenüber so gestellt, daß, würden je zwei aufeinander zugeführt, sie sich in rechten Winkeln schneiden würden. Obwohl die ganze Vorrichtung unten aus Kupfer und schwer ist, stößt sie nirgendwo an. Sie wird von allen Seiten angetrieben, in der Mitte zu bleiben. Und da sie herabhängt und beweglich ist und dadurch im Gleichgewicht bleibt, ist sie auch bei starkem Wellengang immer genau ausgerichtet. So geschieht es, daß nichts passiert, was dieses Instrument von der Richtung nach Norden abhalten kann.»[1]

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 255-256.

Das neue Element bestand demnach in dem geistreichen Einfall der «kardanischen» Aufhängung, die dazu führt, daß die Kompaßscheibe während der Fahrt des Schiffes in horizontaler Lage in der Schwebe gehalten wird.[2]



Dazugehöriges Anschauungsmodell mit geöffneter Seite: Messing, Durchmesser: 12,5 cm.

Der magnetisierte Drahtbügel, der unter der Scheibe angebracht ist, richtet die Scheibe in Nord-Süd-Richtung aus. Durch die «kardanische» Aufhängung kann die Himmelsrichtung auch bei Krängung (Schräglage) gemessen werden.
Die Scheibe trägt die Namen von 15 Fixsternen mit ihren Auf- und Untergängen im Abstand von 15°15'. Sie ist außerdem in Grade unterteilt.

A. Breusing, *Zur Geschichte der Geographie. 1. Flavio Gioja und der Schiffskompaß*, in: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 4/1869/31-51, bes. S. 47 (Nachdruck in: Acta Cartographica, Amsterdam, 12/1971/14-34, bes. S. 30). Breusing verweist auf Cardanos Buch *De subtilitate*, Buch XVII: *De artibus artificiosisque rebus*.

Verschiedene Kompaßnadeln. Sie wurden unter der Scheibe aus Pappe befestigt und zeigten, nach Magnetisierung mit einem Magnetstein, die Nord-Süd-Richtung. Bei den Arabern war die «Fischform» (links) die gebräuchlichste.

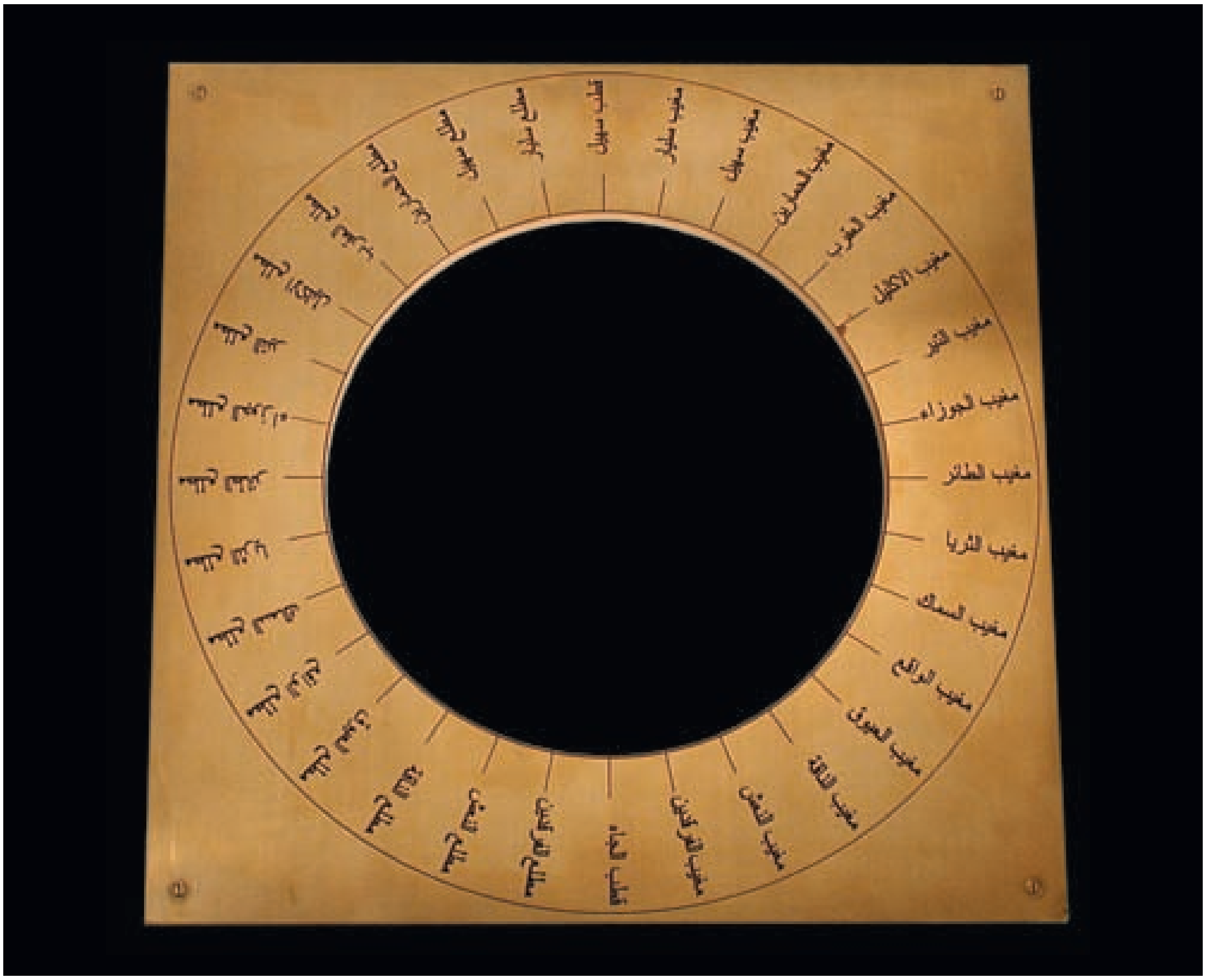
[2] Zu der Gewohnheit, diese Erfindung als «kardanisch» zu bezeichnen, gibt Arthur Breusing zu bedenken: «Nun sagt aber Cardanus selbst: ‹Man hat die Erfindung gemacht, den Stuhl des Kaisers so einzurichten, daß derselbe beim Fahren trotz aller Schwankungen immer unbeweglich und bequem sitzt. Es geschieht dies durch eine besondere Verbindung von Bügeln. Denn wenn drei bewegliche Ringe so mit einander verbunden werden, daß sich die Zapfen des einen oben und unten, die des anderen rechts und links, und die des dritten vorn und hinten befinden, so muß eine solche Vorrichtung, da eine jede Bewegung immer nur um höchstens drei Achsen erfolgt, bei jeder Lage des Reisewagens vollkommen in Ruhe bleiben. Das Princip ist den Lampen entlehnt, die, man mag sie halten wie man will, doch das Öl nicht verschütten›. Hieraus geht wenigstens so viel hervor, daß man Cardanus nicht als Erfinder der Vorrichtung ansehen kann, und sie nur deshalb nach ihm nennt, weil sie von ihm wohl zuerst erwähnt wird. Trotz aller meiner Nachforschungen ist es mir nicht gelungen, etwas weiteres über den Ursprung dieser so höchst sinnreichen Erfindung festzustellen.»

Kompaß
des Nautikers Ibn Māǧid

Die höchste Stufe des im Indischen Ozean entwikkelten Kompasses konstruiert zu haben, scheint ein Verdienst von Ibn Māǧid, einem der größten Nautiker vor Ort, gewesen zu sein. In seinem im Jahre 895/1489 verfaßten Buch mit dem Titel *Kitāb al-Fawāʾid* schreibt er, daß es zu seinen Erfindungen in der Wissenschaft der Nautik gehöre, die Magnetnadel direkt auf den Kompaß zu setzen. In Anbetracht der uns bekannten Kompaßformen im Indischen Ozean, bei denen ein Magnetdraht oder eine Magnetnadel entweder unter einer runden Kartonscheibe oder ohne Kartonscheibe auf einem Stift schwebt, können wir die Erfindung des Ibn Māǧid wohl in dem Sinne verstehen, daß er die Magnetnadel über der Kartonscheibe auf dem Stift schweben ließ.[1]

Unser Modell:
Zylinder aus Hartholz.
Durchmesser: 16 cm. Höhe: 10 cm.
«Kardanische» Aufhängung
mittels Kupferring.
Eisennadel, Länge: 8 cm,
auf einem Stift in der halbkugelförmigen
Dose, letztere mit Scheibe verschlossen.
(Inventar-Nr. C 1.08)

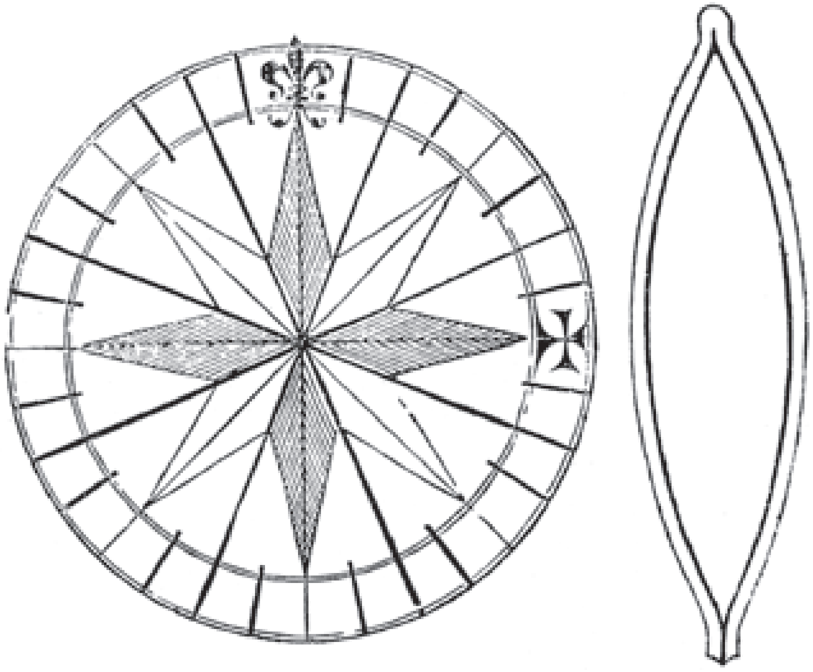
[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 261.



Eine Vorrichtung als
Hilfsmittel für den Kompaß

Unser Modell:
Messing, geätzt, auf Holz.
Kantenlänge 41 cm.
Stärke: 6 mm.
(Inventar-Nr. C 1.23)

Den Ausführungen der beiden großen Nautiker Ibn Māǧid und Sulaimān al-Mahrī läßt sich entnehmen, daß man bei der Fahrt im Indischen Ozean den zylinderförmigen Kompaß mit einer ergänzenden Vorrichtung kombinierte. Es war eine den Zylinder umschließende Platte, die mit den 32 konvergierenden Strichen der Weisungspunkte und den Namen der Auf- und Untergänge der bekannten 15 Fixsterne nebst den zwei Polen versehen war. Die Platte mit dem Kompaß hatte ihren festen Platz auf dem Vorschiff (*ṣadr al-markab*). Sie ermöglichte es dem Navigator, den sich während der Fahrt ändernden Richtungswinkel abzulesen.



Einer der
von Kolumbus benutzten
Kompaßtypen[1]

Mit großer Wahrscheinlichkeit stand Christoph Kolumbus der oben (S. 62) erwähnte zweite der drei Kompaßtypen zur Verfügung, die der Historiker Osorius (1506-1580) beschrieben hat. Er ist dadurch gekennzeichnet, daß ein magnetisierter Drahtbügel an einem Stück Papier von unten gegen die Kompaßscheibe geklebt ist. Die Scheibe selbst schwebt frei beweglich auf einem zugespitzten Stift. Der Spanier Martin Cortés beschreibt in seinem *Breve compendio de la sphera y de la arte de navegar* (Sevilla 1551, S. 80) einen solchen Kompaß und versieht seine Beschreibung mit einer Abbildung der Kompaßscheibe und des Drahtbügels.[2]

Allem Anschein nach gelangte dieser im Indischen Ozean verwendete Typ Kompaß bereits im 9./15. Jahrhundert italienischen Nautikern zur Kenntnis. Man gewinnt diesen Eindruck vor allem durch den Bericht über die erste Reiseroute von Vasco da Gama, wo es heißt, er habe gesehen, wie die Seefahrer des Indischen Ozeans Magnetnadeln nach Art der Genuesen verwendeten.[3] Es wurde leider bisher nicht bemerkt, daß die 32er-Einteilung der Scheibe nicht die Weisungsstriche der Windrose wiedergibt, sondern mit der Kompaßscheibe der Nautiker des Indischen Ozeans in Verbindung steht, deren Einteilung ihren Ursprung in den Weisungspunkten der Auf- und Untergänge der bekannten 15 Fixsterne und der beiden Pole hat.

[1] Neben dem hier beschriebenen «genuesischen» Typ benutzte er bei seinen Fahrten auch Kompasse, die er als «flämisch» bezeichnete. Auch dieser Typ war nach dem Prinzip gebaut, daß sich die Kartonscheibe zusammen mit dem Drahtbügel drehte. Aus Kolumbus' Angaben können wir schließen, daß die «flämische» Art des Kompasses auch eine ähnliche Scheibe besaß wie die «genuesische», vgl. H. Balmer, *Beiträge zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus*, Aarau 1956, S. 80-84.

[2] s. H. Balmer, *Beiträge*, a.a.O. S. 79-80.

[3] s. *Roteiro da primeira viagem de Vasco da Gama (1497-1499)* por Álvaro Velho, préfacio, notas e anexos por A. Fontoura da Costa, Lissabon 1940, 2. Aufl. 1960, S. 23; vgl. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 11, S. 307.

Der erste «wahre Schiffskompaß» in Europa

Gedrehter Zylinder aus Hartholz. Durchmesser: 24,5 cm. Höhe: 17 cm. «Kardanische» Aufhängung mittels Kupferring. Scheibe mit fischförmig gebogenem Eisendraht zwischen zwei Spitzen, drehbar befestigt in der halbkugelförmigen Kompaß-Dose. (Inventar-Nr. C 1.09)

Der von Heinz Balmer, dem wir ein verdienstvolles Werk über die Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus verdanken, als der «wahre Schiffskompaß»[1] bezeichnete Typ ist nichts anderes ist als derjenige, der von dem portugiesischen Historiker Osorius als dritte Art der von den arabischen Nautikern im Indischen Ozean verwendeten Kompasse beschrieben wurde (s.o.S. 63):
«Die Nadel sitzt mit einem Hütchen versehen und im Gleichgewicht schwebend frei beweglich oben auf der Spitze eines mit dem Boden des Kästchens fest verbundenen Stiftes. Auf der Oberseite der Nadel ist eine runde Scheibe festgeheftet und darauf ein Teilkreis gezeichnet, der sich als beweglicher Horizont mit ihr dreht. Diese Scheibe ist nicht in 360 Grad abgeteilt, sondern in Windstriche von je $11\frac{1}{4}$ Grad. Damit endlich das Kästchen immer waagrecht bleibt, ist es an gekreuzten Achsen in zwei waagrechten Ringen aufgehängt, so daß es sich im innern Ringe um die eine Achse drehen kann und der innere Ring sich im äussern um die andere, die rechtwinklig zur ersten liegt. Das Kästchen kann dann trotz den Schwankungen des Schiffes immer seiner Schwerpunktslage zustreben.»
Balmer fährt fort: «Der Spanier Pedro de Medina spricht 1545, der Niederländer Stevin 1599 von diesem Kompass als von etwas ganz Gewöhnlichem. Die Aufhängung in den beiden Ringen soll zwar erst Cardano erfunden haben, der 1501 bis 1576 lebte. Niemand aber sagt uns, wer als erster die Nadel unter einem Karton mit der Windrose befestigt und so auf einen Stift gestellt habe.»

Es ist zu bedauern, daß Balmer von der arabischen Nautik im Indischen Ozean und von den Ausführungen des Osorius über die dort erfundenen Kompaßarten keine Kenntnis gehabt hat.
Die Vermutung dürfte nicht unbegründet sein, daß der «wahre Schiffskompaß» so wie die beiden anderen von Osorius beschriebenen Kompaßarten schon mit den ersten portugiesischen Expeditionen aus dem Indischen Ozean nach Portugal gelangten. Der erste in Europa in Erscheinung getretene «wahre Schiffskompaß» dürfte ungefähr wie das hier abgebildete Modell ausgesehen haben.

[1] s. H. Balmer, *Beiträge*, a.a.O. S. 69.

Zylinder aus Hartholz.
Durchmesser: 26 cm.
Höhe: 20 cm.
(Inventar-Nr. C 1.10)

Ein weiteres Modell des

«Schiffskompasses»

Nach Georges Fournier, *Hydrographie contenant la théorie et la practique de toutes les parties de la navigation*, Paris 1643.

Schiffskompaß

in quadratischem Gehäuse

Rekonstruktion im Hinblick auf die von Rodrigo Zamorano (1581) beschriebene Form[1]. Der Kasten, der die Kompaßdose mit ihrer «kardanischen» Aufhängung trägt, ist erstmalig quadratisch.

Unser Modell:
Kasten aus Hartholz: 20 × 20 × 10 cm.
Zylindrische Kompaßdose aus Holz.
«Kardanische» Aufhängung
an Messingring.
Scheibe mit rhombisch gebogenem
Eisendraht, drehbar auf einen
Messingdorn gesetzt.
(Inventar-Nr. C 1.11)

[1] Rodrigo Çamorano, *Compendio de la arte de navegar,* Sevilla 1581, Nachruck Madrid 1973, fol. 36a.

Unsere Modelle:
a) Rahmen aus Holz (Basis 25 × 25 cm), zusammenklappbar;
Skala und Alidade aus Messing,
Magnetnadel zwischen Acrylscheiben.
(Inventar-Nr. C 1.24)
b) Kasten aus Hartholz: 25 × 25 × 15 cm.
«Kardanische» Aufhängung an Messingring.
(Inventar-Nr. C 1.12)

Zwei osmanische Kompaßtypen

Der ersten Müteferriqa-Ausgabe des osmanisch-türkischen Buches *Ǧihānnumā* von Ḥāǧǧī Ḫalīfa (1609-1658) wurde im Jahre 1145/1732 die Abbildung eines Kompasses beigegeben (zwischen S. 65 und 66, rechts), auf dem die Magnetnadel nicht mehr als Drahtbügel die Kartonscheibe trägt, sondern als magnetisierter Zeiger auf einem Stift über der Scheibe schwebt. Damit erinnert er an den von dem Nautiker des Indischen Ozeans Ibn Māǧid als eigene Erfindung beschriebenen Kompaßtyp (s.o.S. 65).

Eine Anmerkung im Text besagt, daß man im Jahre 1145/1732 eine Abweichung von 11°30' für İstanbul ermittelt hat, was auch beim Kompaß demonstriert wird.

Der andere von Ḥāǧǧī Ḫalīfa beschriebene und in der Abb. links wiedergegebene Kompass ist ein Kombinationsinstrument; senkrecht aufgeklappt dient eine Alidade zum Messen des Höhenwinkels von Himmelskörpern, zugeklappt in horizontaler Lage wird eine zwischen zwei Scheiben montierte Magnetnadel als Kompaß verwendbar.

Kasten aus Sperrholz, 30 × 30 × 15 cm. «Kardanische» Aufhängung an quadratischem Messingring. Halbkugelförmige Kompaßdose, von quadratischer Vorrichtung zur Peilung umgeben. Rhombusförmiger Eisendraht unter der Pappscheibe. Scheibe mit 32er-Teilung. (Inventar-Nr. C 1.13)

Schiffskompaß

Rekonstruktion eines europäischen Kompasses aus dem 18. Jahrhundert mit grob eingeteilter Scheibe und relativ genauer Vorrichtung zum Peilen. Nach Nicholas Bión, *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathématique*, Paris 1752, S. 278, fig. 2. (s. rechts).

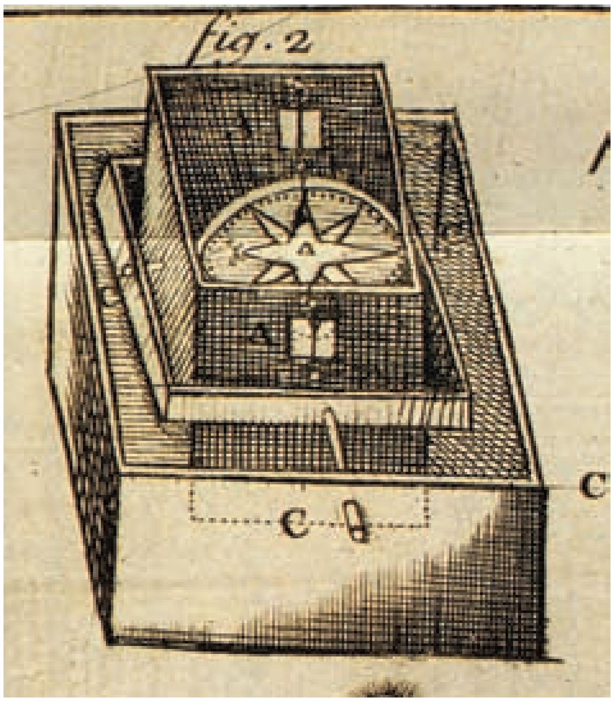


Abb. aus N. Bión, *Traité…*, a.a.O., S. 278, fig. 2. nach *Instrumentos de navegación del Mediterranéo al Pacifico,* Barcelona o.J., S. 88.

Schiffskompaß

Nachbau eines Kompasses aus dem 19. Jahrhundert. Die sogenannten Windstriche sind hier durch die Himmelsrichtungen ersetzt.

(Original im Museu Marítim, Barcelona, s. *La navegació en els velers de la carrera d'Amèrica*, Barcelona: Museu Marítim o.J., No. 47)

Kasten aus Hartholz,
21 × 21 × 13,5 cm.
Nut zum Einschieben eines Deckels.
Zylindrische Kompaßdose aus Messing,
Durchmesser: 14 cm.
«Kardanische» Aufhängung an Messingring.
Rhombisch geformter Eisendraht unter der Pappscheibe.
Auf der Scheibe «Windrose» mit 32er-Teilung,
am Rand Teilung in 4 × 90°.
Aufschrift in der Mitte der Scheibe:
«Antigua casa / Rosell / Barcelona».
(Inventar-Nr. C 1.14)

Schiffskompaß

Einem spanischen Kompass aus dem 19. Jahrhundert nachgebaut. Das Original wurde offenbar in eine Vorrichtung auf dem Schiff eingesetzt: Der «kardanische» Ring ist nur auf seiner Innenseite mit der Dose verbunden, nach außen stehen Stifte ab.

(Original im Museu Marítim, Barcelona, s. *La navegació en els velers de la carrera d'Amèrica*, Barcelona: Museu Marítim o.J., No. 45)

Messingdose,
Durchmesser: 22 cm.
«Kardanische» Aufhängung an Messingring.
Rhombischer Eisendraht unter der Pappscheibe.
Scheibe mit 32^{er}-Teilung
nach Himmelsrichtungen
und mit Gradteilung (4 × 90°),
Aufschrift: «Escuela Nautica Masnou».
(Inventar-Nr. C 1.15)

Unser Modell:
Messing, vergoldet.
Durchmesser: 18 cm.
Die Scheibe aus Pappe ist drehbar gelagert zwischen zwei Dornen. Auf ihrer Rückseite ist der rhombisch geformte Eisendraht befestigt.
Auf der Scheibe eine Gradteilung (4 × 90°), und eine Kompaßrose mit 32^er^-Teilung, geschützt durch ein in die Krone eingesetztes Glas.
(Inventar-Nr. C 1.16)

Schiffskompaß

Nach dem Original eines portugiesischen Kompasses in Kronenform aus dem 18. Jahrhundert. Die «kardanische» Aufhängung ist hier nicht erforderlich, da der Kompaß mit der Scheibe nach unten an einem Faden befestigt wurde. Leichtere Schwankungen des Schiffs wurden somit ausgeglichen. Der Kompaß hing mit der Nadel nach unten über dem Bett des Kapitäns, so daß er den Kurs auch von dort verfolgen konnte.

(Original im Musée de la Marine, Paris)

‹Markscheider›-
Kompaß

Chinesischer Landvermesser-Kompaß mit Sonnenuhr aus dem Jahr 1765/66 im Besitz des Institutes.

Hartholz, geritzt.
Durchmesser: 115 mm.

Obere Hälfte des Gerätes, Innenseite: Kompaßnadel mit detaillierter Azimutskala.

Untere Hälfte des Gerätes, Innenseite: Gnomon mit verstellbarer Skalenscheibe. Kompaßnadel mit grober Azimutskala.

Aufschrift auf der Vorderseite: «Sonnenuhr, hergestellt im 30. Jahr der Ch'íen Lúng-Ära» (1765/66). (Inventar-Nr. C 1.17)

Gebetskompaß

Nachbau eines osmanisch-türkischen Kompasses aus dem 19. Jahrhundert in drei Ausführungen. Das Original befindet sich im Rautenstrauch-Joest-Museum für Völkerkunde in Köln. Es wurde von einem Aḥmad b. Ibrāhīm aš-Šarbatlī im Jahre 1251/1853 hergestellt.
Im Umkreis um das Zentrum mit der Kompaßnadel sind Namen und Koordinaten einiger wichtiger Städte aus der islamischen Welt verzeichnet. Befindet man sich in einem der Orte, so kann man mit dem Kompaß die Gebetsrichtung nach Mekka bestimmen. Mit Hilfe des Gnomon an der als Westen gekennzeichneten Seite lassen sich an der nebenstehenden Skala die Gebetszeiten ablesen.

Messing, geätzt.
16 × 16 × 2 cm.
(Inventar-Nr. C 1.18c)

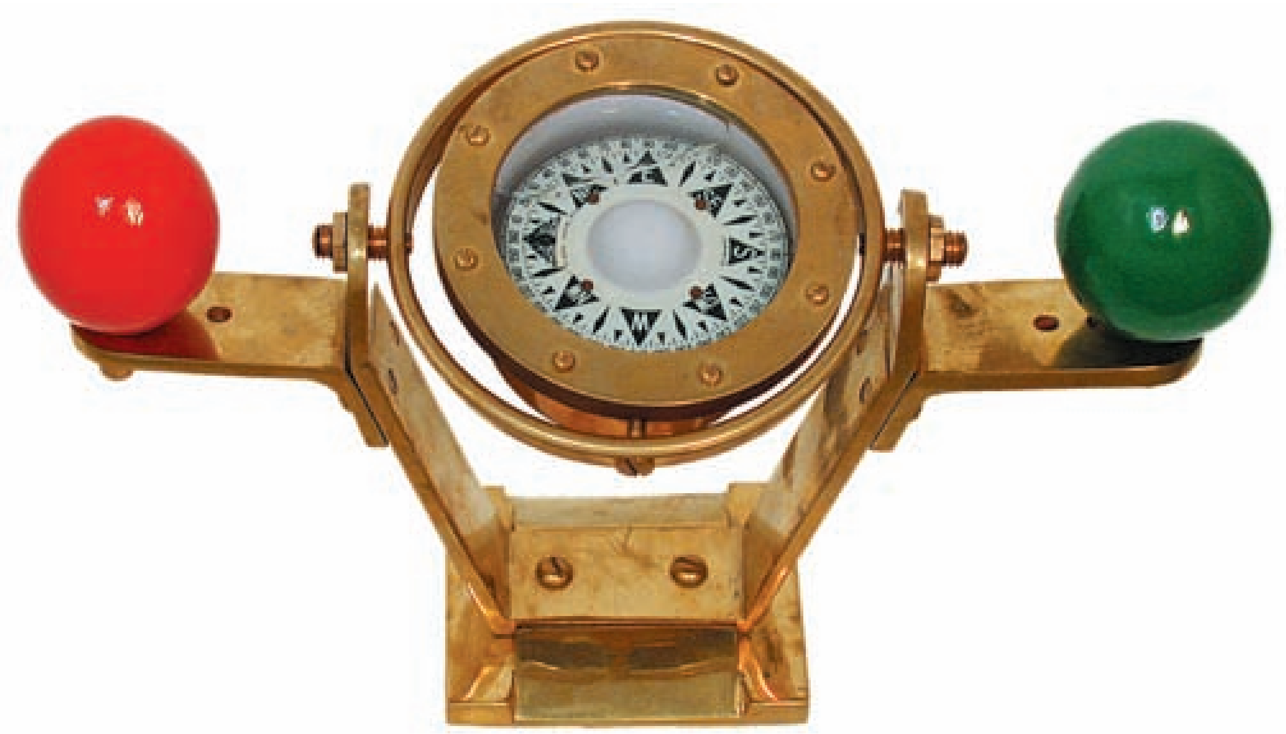
Hartholz, geritzt.
13 × 13 × 2 cm.
(Inventar-Nr. C 1.18b)

Silber, graviert.
11 × 11 × 2 cm.
(Inventar-Nr. C 1.18a)

Höhenverstellbares Spiegelvisier mit Faden. Beim Einklappen fixiert es durch einen Federmechanismus den magnetisierten Kreisring. Dem Spiegelvisier gegenüber ist die Visierung angebracht. Sie besteht aus einem Schlitz-Visier und einem Loch-Spiegelvisier mit zwei farbigen Blenden. Der Kreisring aus magnetisiertem Eisen trägt eine Einteilung in 360° in Spiegelschrift und ist auf einem Dorn gelagert. Wasserwaage im Boden der Kompaßdose. Messingdeckel zum Schutz der Glasscheibe. Signatur auf dem Deckel: Stanley/London/1917.
(Inventar-Nr. C 1.22)

Vermessungskompaß

Ein englischer Kompaß mit Peilung und Wasserwaage von 1917 im Besitz des Institutes.
Durch die Schlitz-Visierung wird das gewünschte Objekt angepeilt, bis es sich in einer Linie mit dem Faden des gegenüberliegenden Visiers befindet.
Nach Auspendeln des magnetisierten Kreisringes kann man den Grad durch die verspiegelte Lochvisierung ablesen.



Fluid-Schiffskompaß

Ein europäischer Kompaß vom Anfang des 20. Jahrhunderts im Besitz des Institutes. Mit den beiden hohlen Eisenkugeln als Kompensations-Magneten wird die vom Kurs abhängige Restabweichung kompensiert.

Kompaßdose aus Messing, «kardanisch» aufgehängt und mit in Alkohol schwimmender Scheibe versiegelt.
Durchmesser: 104 mm.
Scheibe mit 360-Grad-Einteilung und Himmelsrichtungen.
Zwei hohle Eisenkugeln, Durchmesser: 40 mm, verstellbar verschraubt.
(Inventar-Nr. C 1.19)

Kompaß

Englischer Schiffskompaß von etwa 1920, im Besitz des Institutes. Wegen seiner geringen Größe war er wohl für eine kleine Yacht bestimmt.

Kompaßdose aus Messing,
Durchmesser: 10 cm,
mit einer Scheibe wasserdicht verschlossen,
mit Messingdeckel verschraubbar,
«kardanisch» aufgehängt.
Eingraviert in den Boden der Dose sind eine 360-Grad-Einteilung, die Himmelsrichtungen und «T. Cooke / London».
Die Magnetnadel ist auf einem Dorn gelagert.
(Inventar-Nr. C 1.20)

Geographischer Kompaß

Ein englischer Kompaß mit Peilung aus dem 20. Jahrhundert im Besitz des Institutes. Durch die Schlitz-Visierung wird ein Objekt angepeilt, bis es sich in einer Linie mit dem Draht im Deckel befindet. Da sich die Scheibe nur langsam in Nord-Süd-Richtung einpendelt, kann man sie hierbei mit dem Federmechanismus unterstützen. Nach Ausrichtung der Scheibe ist der Grad durch die verspiegelte Lochvisierung ablesbar.

Kompaßdose aus Messing mit Glasdeckel, Durchmesser: 70 mm.
Kleiner Fuß zum Aufsetzen auf ein Stativ.
Deckel mit Scharnier, einklappbar, innen verspiegelt und mit einem Visier aus Glas mit einem dünnen Draht versehen. Gegenüber Schlitz-Visierung, darunter Lochspiegel-Visierung.
Kompaßscheibe aus Aluminium mit Einteilung in 360° in Spiegelschrift und Anzeige der vier Himmelsrichtungen.
Magnetnadel unter der Scheibe befestigt.
Federmechanismus seitlich zum manuellen Beruhigen der Scheibe. Unten zwei Stellschrauben zur Justierung der Scheibe.
(Inventar-Nr. C 1.21)

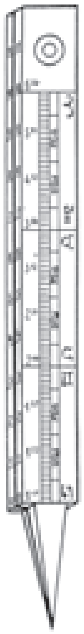
Fluid-Schiffskompaß
mit Sturmlampe

Kompaß mit 360°-Teilung und Windrose in zylindrischer Messingbussole ‹kardanisch› aufgehängt (Durchmesser 19 cm). Seitliche Beleuchtungsvorrichtung, Behälter mit Docht und Stellschraube, sign.: Sherwoods Limited, Vaporite No. 1. (Inventar-Nr. C 1.25)

Im Besitz des Institutes, wahrscheinlich frühes 20. Jh.

KAPITEL 4

UHREN



Schenkellänge: 27 cm.
Messing, graviert.
(Inventar-Nr. B 2.08)

Zirkel

zur Bestimmung der Gebetszeiten

In einer noch nicht veröffentlichten Handschrift, die mit großer Wahrscheinlichkeit von dem bekannten Astronomen Abū ʿAbdallāh Muḥammad b. Mūsā al-Ḫwārizmī[1] (1. Hälfte 3./9. Jh.) stammt, wird ein einfaches Instrument beschrieben, das zur Bestimmung der Gebetszeiten diente (*barkār yuʿrafu bihi l-auqāt li-ṣ-ṣalāt wa-yuqāsu bihi ẓ-ẓill*). Die Beschreibung wurde von J. Frank und E. Wiedemann[2] untersucht. Ihre Zusammenfassung lautet: «Das Instrument ist eine Art Zirkel, dessen Schenkel an ihren Außenseiten eine Tabelle tragen, aus der man die Schattenlänge des Zirkels, wenn er vertikal mit seinen an den freien Enden angebrachten Eisenstiften in den Boden gesetzt wird, zur Zeit der Verrichtung des *ʿAṣr*-[Nachmittags-]Gebetes für alle Stellungen der Sonne im Tierkreis entnehmen kann. Auf der Außenseite des einen Schenkels sind die Größenverhältnisse für die nördlichen Tierkreiszeichen, auf der des anderen die für die südlichen aufgezeichnet (siehe Figur). Die beiden anderen Seiten der Schenkel des Zirkels tragen eine Teilung, durch die die Länge des Zirkelschenkels (ohne Spitze) in 12 gleiche Teile (ev. auch Unterteile) geteilt ist. Zur Gebetsbestimmung wird der zusammengeklappte Zirkel mit den Stiften so tief in den Boden gerammt, daß der Anfang der Längenteilung mit der Ebene des Erdbodens zusammenfällt. Der Endpunkt des vom Zirkel entworfenen Schattens wird bezeichnet und die Strecke zwischen ihm und der Einsteckstelle des Zirkels an seiner Längenteilung abgemessen. Zu dem Zwecke streckt man den Zirkel, da der Schatten eines Schenkels zur Zeit des *ʿAṣr*-Gebetes länger als die einfache Schenkellänge ist. Ist die gemessene Strecke gleich der aus der Tabelle der Außenseiten sich ergebenen Größe für diesen Tag, so ist die Gebetszeit eingetreten. Ist dieser Wert noch nicht erreicht, so hat man zu warten, bis dies der Fall ist.»

[1] Wirkte unter dem Kalifen al-Maʾmūn (reg. 198/813-218/833, s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 6, S. 140-143). Die erhaltene Handschrift (Berlin 5790, fol. 77b-97b) scheint ein Teil seines *Zīǧ* oder seines *K. al-Asṭurlāb* zu sein.

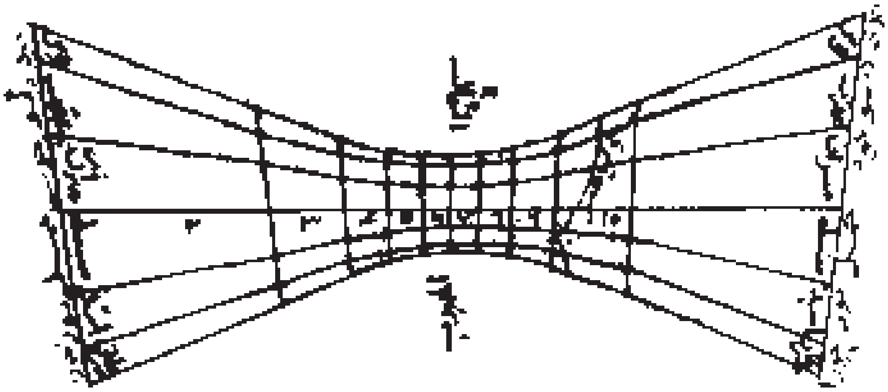
[2] *Die Gebetszeiten im Islam*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät zu Erlangen 58/1925/1-32 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 92, Frankfurt 1998, S. 97-128).

Kronleuchteruhr

Durchmesser: 80 cm.
Messing, vergoldet.
Höhe der Glasflaschen: 18 cm.
(Inventar-Nr. B 3.03)

Nachbildung einer von dem bekannten, in Ägypten wirkenden Astronomen ʿAlī b. ʿAbdarraḥmān b. Aḥmad Ibn Yūnis (gest. 399/1009) beschriebenen Vorrichtung zur Zeiteinteilung, die er *ṯuraiyā* (wörtl. «Plejaden») nennt.
Jeweils eine Lampe erlischt, wenn eine Stunde der Nacht verflossen ist. Die erste faßt Petroleumöl für eine Stunde Brenndauer, die zwölfte für zwölf Stunden. Werden die Lampen gleichzeitig entzündet, läßt sich an ihrem Erlöschen die Anzahl der Stunden ablesen. Nach Ibn Yūnis soll die zwölfte Lampe für die längste Nacht des Jahres 36 *dirham* Öl, für die kürzeste Nacht 24 *dirham* erhalten.
Der Leuchter zeigt also Temporal- d.h. ungleiche Stunden an.

Literatur: E.S. Kennedy und W. Ukashah, *The Chandelier Clock of Ibn Yūnis*, in: Isis (Washington) 60/1969/543-545; F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 6, S. 231; E. Wiedemann und F. Hauser, *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur*, in: Nova Acta. Abhandlungen der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle 100/1915/1-272, bes. S. 18 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften zur arabisch-islamischen Wissenschaftsgeschichte,* Frankfurt 1984, Bd. 3, S. 1211-1482, bes. S. 1228).



Die
Sonnenuhr
von al-Malik al-Ašraf

Der dritte Sultan aus der Dynastie der Rasuliden im Jemen, al-Malik al-Ašraf ʿUmar b. Yūsuf (reg. 694/1295-696/1296), gibt in seinem Buch *Muʿīn aṭ-ṭullāb ʿalā ʿamal al-aṣṭurlāb* die Skizze einer Sonnenuhr, die er für den Breitengrad von Kairo hergestellt hat.[1] Außer diesem astronomischen Werk sind Abhandlungen von ihm auch aus den Bereichen Medizin und Genealogie auf uns gekommen. Sein erhaltenes Astrolabium (s.o.II, 105) zeugt von seinen hohen Fähigkeiten als Instrumentenmacher (vgl. auch o., S. 58).

Unser Modell:
Gravierte Messingplatte:
36 × 46 cm, mit Gnomon,
eingelassen in einen Tisch aus Hartholz.
Fuß aus Messing.
(Inventar-Nr. B 2.03)

[1] Nach der Handschrift Kairo, Dār al-Kutub, Taimūr, riyāḍīyāt 105, fol. 107b-138a, s. D.A. King, *A Survey of the Scientific Manuscripts in the Egyptian National Library*, Winony Lake (Indiana) 1986, S. 209, 282. S. noch C. Brockelmann, *Geschichte der arabischen Litteratur*, Bd. 1, S. 494, 1. Supplementband S. 904; Ziriklī, *Aʿlām* Bd. 5, S. 232.

Auszug aus al-Marrākušī, *Ǧāmiʿ*,
Hds. İstanbul, Ahmet III, Nr. 3343.

Unser Modell:
Höhe: 19 cm. Holz, lackiert.
Für den 41. Breitengrad konzipiert.
(Inventar-Nr. B 2.07)

Zylindrische Sonnenuhr

Unter den von Abu l-Ḥasan al-Marrākušī beschriebenen Sonnenuhren gibt es zwei tragbare, eine zylindrische und eine rechtwinklige. Beide gelten für einen bestimmten Breitengrad, der zwischen dem Äquator und ca. 66° 30' nördlicher oder südlicher Breite liegt. Auf einen aus Holz oder Messing angefertigten Zylinder werden die zuvor ermittelten vertikalen Schattenlinien aufgetragen.[1]
Voraussetzung für die Konstruktion und die Verwendung beider Uhren ist eine Tabelle, auf der die Werte der vertikalen Schattenlinien für die Ablaufzeiten der Tages- und Nachtstunden zu Beginn der Tierkreiszeichen (für halbe Stunden, drittel Stunden oder andere Unterteilungen) eingetragen sind.
Die Oberfläche der zylindrischen Sonnenuhr, die aus hartem Holz oder Messing besteht, wird von oben her in zwölf gleiche Teile geteilt. Diesen entsprechend werden die Namen der Tierkreiszeichen, beginnend mit Steinbock, aufgetragen oder eingraviert. Ein beweglicher Gnomon wird an einem Ring oder anderswie am Zylinder, direkt der Tierkreislinie folgend, angebracht. Die durch Ablesen des Schattenverlaufs ermittelten Werte zeigen die Zeit nach Temporalstunden und damit die

[1] Abu l-Ḥasan al-Marrākušī, *Ǧāmiʿ al-mabādiʾ wa-l-ġāyāt*, Faksimile Frankfurt 1984, Bd. 1, S. 231-236; J.-J. und L.A. Sédillot, *Traité des instruments astronomiques des arabes*, Paris 1834-35 (Nachdruck Frankfurt 1998, Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 41), Bd. 1, S. 435ff.

Gebetszeiten an. al-Marrākušī stellt seine Tabelle für den 30. Breitengrad und seine Skizzen für die zylindrische Uhr folgendermaßen dar (s. Abb. o.). Für unser Modell haben wir uns nach zwei osmanischen Exemplaren dieses Uhrentyps aus dem 18. Jahrhundert orientiert. Eines davon befindet sich im Museum der Sternwarte von Kandilli in İstanbul, das andere gehört zum Nachlaß von Marcel Destombes (zur Zeit im Museum des Institut du Monde Arabe, Paris).

(anon., spätes 16. Jh., Florenz; Ist. e Mus. di Storia della Scienza, Firenze, Inv. No. 2457).

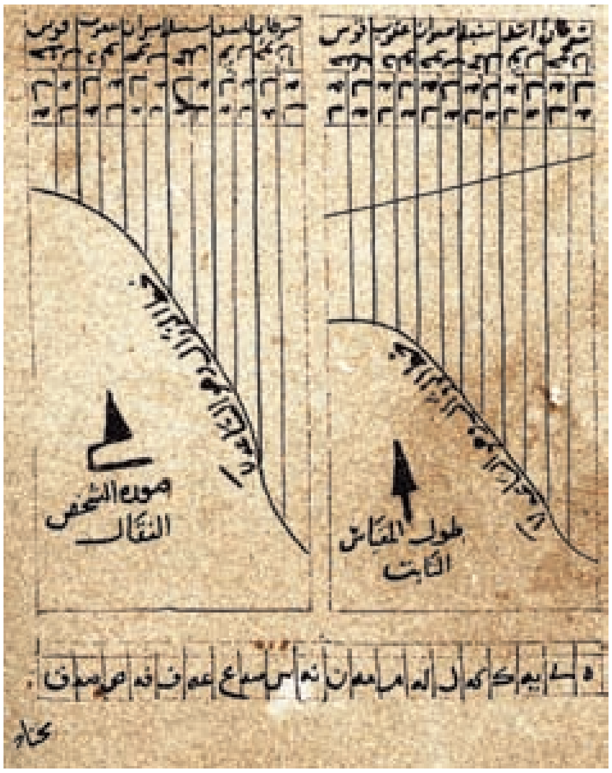
Zur Frage des möglichen Fortlebens dieses Typs Sonnenuhr s. A.J. Turner u.a. (Eds.), *Time*, Den Haag 1990, No. 200, S. 105, 114. Hier findet sich die Abbildung eines europäischen Exemplares von ca. 1600 aus einer Privatsammlung:

s. M. Dizer, *Astronomi hazineleri,* İstanbul 1986, Abb. 17. Christiane Naffah, *Un cadran cylindrique ottoman du XVIII*ème *siècle*, in: Astrolabica (Paris) 5/1989/37-51.

Sonnenuhr

genannt «Heuschreckenbein»

Eine vereinfachte Form der oben angeführten Sonnenuhr wird von al-Marrākušī (a.a.O. S. 236; Übers. Sédillot, a.a.O. S. 440) unter dem Namen *sāq al-ǧarāda* («Heuschreckenbein») beschrieben. Wahrscheinlich hat man das Instrument wegen seiner Einfachheit so genannt und weil man es bequem mit sich tragen konnte. Im arabisch-islamischen Kulturkreis bringt man die Bescheidenheit eines Geschenkes mit diesem Wort zum Ausdruck (*pāy-i malaḫ* auf Persisch, *çekirge budu* auf Türkisch).
al-Marrākušī's Skizze und die dazugehörige Tafel sehen folgendermaßen aus:



Bei unserem Modell haben wir uns nach dem Exemplar gerichtet, das im Cabinet des médailles der Bibliothèque nationale in Paris aufbewahrt wird. Es wurde im Jahre 1895 von M. Durighello in Beirut erworben. Das Instrument war im Jahre 554/1159 von einem Abu l-Faraǧ ʿĪsā, Schüler von al-Qāsim b. Hibatallāh al-Aṣṭurlābī, für den syrischen Herrscher Nūraddīn Maḥmūd b. Zanǧī (reg. 541/1146-569/1174) gebaut worden.

Unser Modell:
Maße: 19 × 10 cm.
Messing, graviert.
(Inventar-Nr. B 2.06)

Paul Casanova, *La montre du sultan Noûr ad dîn (554 de l'Hégire = 1159-1160)*, in: Syria. Revue d'art oriental et d'archéologie (Paris) 4/1923/282-299 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 88, Frankfurt 1998, S. 242-262).

Die
Sonnenuhr
der Umaiyaden-Moschee

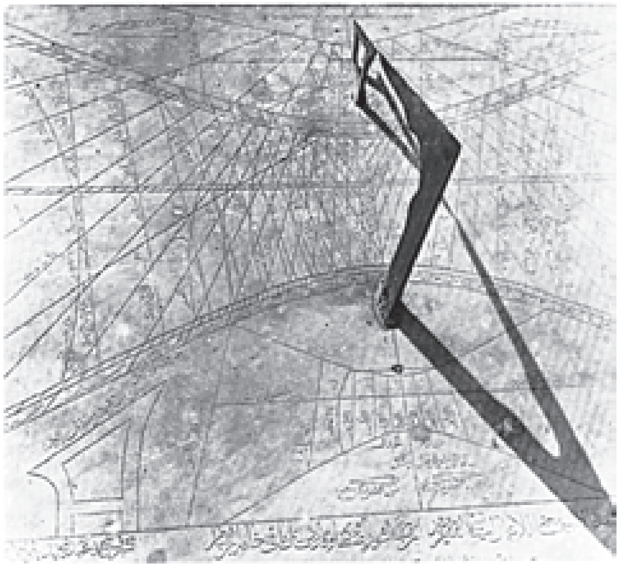
Modell im Maßstab ca. 1:2.
Platte: 60 × 100 cm, eingelassen in einen Tisch aus Hartholz.
(Inventar-Nr. B 2.01)

Die aus dem Jahre 773/1371 stammende Sonnenuhr der Umaiyaden-Moschee in Damaskus, deren ursprüngliche Form in der Regierungszeit des Kalifen al-Walīd b. ʿAbdalmalik (reg. 86/705-96/715) entstand, bildet den Höhepunkt ihrer Gattung im arabisch-islamischen Kulturkreis. Sie wurde von dem Astronomen ʿAlī b. Ibrāhīm b. Muḥammad Ibn aš-Šāṭir[1] (geb. 705/1306, gest. 777/1375) hergestellt. Die Quellen rühmen an diesem Gelehrten neben der Konstruktion seiner Sonnenuhr seine astronomischen Tabellen, seine Planetentheorie, sein Universalinstrument (*al-āla al-ǧāmiʿa*) und seine einzigartige Uhr, die so gebaut war, daß sie sich Tag und Nacht, ohne Zuhilfenahme von Sand oder Wasser drehen, und sowohl die gleichen als auch die ungleichen Stunden anzeigen konnte.[2] Ibn aš-Šāṭir fungierte in Damaskus als Moschee-Astronom (*muwaqqit*) und als Vorsteher der Gebetsrufer (*raʾīs al-muʾaḏḏinīn*).
Die von ihm hergestellte Sonnenuhr hat mit ihren 1 × 2 Metern eine ungewöhnliche Größe. Das Original galt bis 1958 als verloren. Bei Reparaturarbeiten wurde es, in drei Teile zerbrochen, wieder aufgefunden. Es war wohl bei einer im Jahre 1873 von dem Astronomen aṭ-Ṭanṭāwī unternommenen

[1] an-Nuʿaimī, ʿAbdalqādir b. Muḥammad, *ad-Dāris fī taʾrīḫ al-madāris*, Damaskus 1951, Bd. 2, S. 388-389; E. Wiedemann, *Ibn al Schâṭir, ein arabischer Astronom aus dem 14. Jahrhundert*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät zu Erlangen 60/1928/317-326 (Nachdruck in: *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte*, Hildesheim 1970, Bd. 2, S. 729-738); C. Brockelmann, *Geschichte der arabischen Litteratur*, Bd. 2, S. 126-127, 2. Supplementband, S. 157.

[2] Das erinnert an die sich mechanisch drehende (vielleicht durch Gewichte angetriebene) Uhr von Taqīyaddīn (s.u. S. 119). Ibn aš-Šāṭir's Uhr beschreibt der Historiker Ḫalīl b. Aibak aṣ-Ṣafadī, der sie im Hause des Astronomen selbst gesehen hat, vgl. E. Wiedemann, *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur*, a.a.O. S. 19 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften*, Frankfurt 1984, Bd. 3, S. 1229).

Korrektur zerbrochen.[3] Dieser wollte einen Fehler festgestellt haben und hat das Original dann durch eine Kopie ersetzt, die sich heute vor Ort in einem Durchgang am Fuß des al-ʿArūs genannten Minarettes an der Nordseite der Moschee befindet. Tatsächlich ist die von aṭ-Ṭanṭāwī angefertigte Sonnenuhr ein getreues Abbild des Originals,[4] dessen drei Teile heute im Syrischen Nationalmuseum in Damaskus aufbewahrt werden.
Die Uhr besteht aus drei Teilen. Der zentrale Teil zeigt die ungleichen oder Temporalstunden auf vier Minuten genau. Der nördliche und der südliche Teil sind für die gleichen oder Äquinoktialstunden konstruiert.



Photographie des Originals aus *Centaurus*, Bd. 16, zu S. 288.

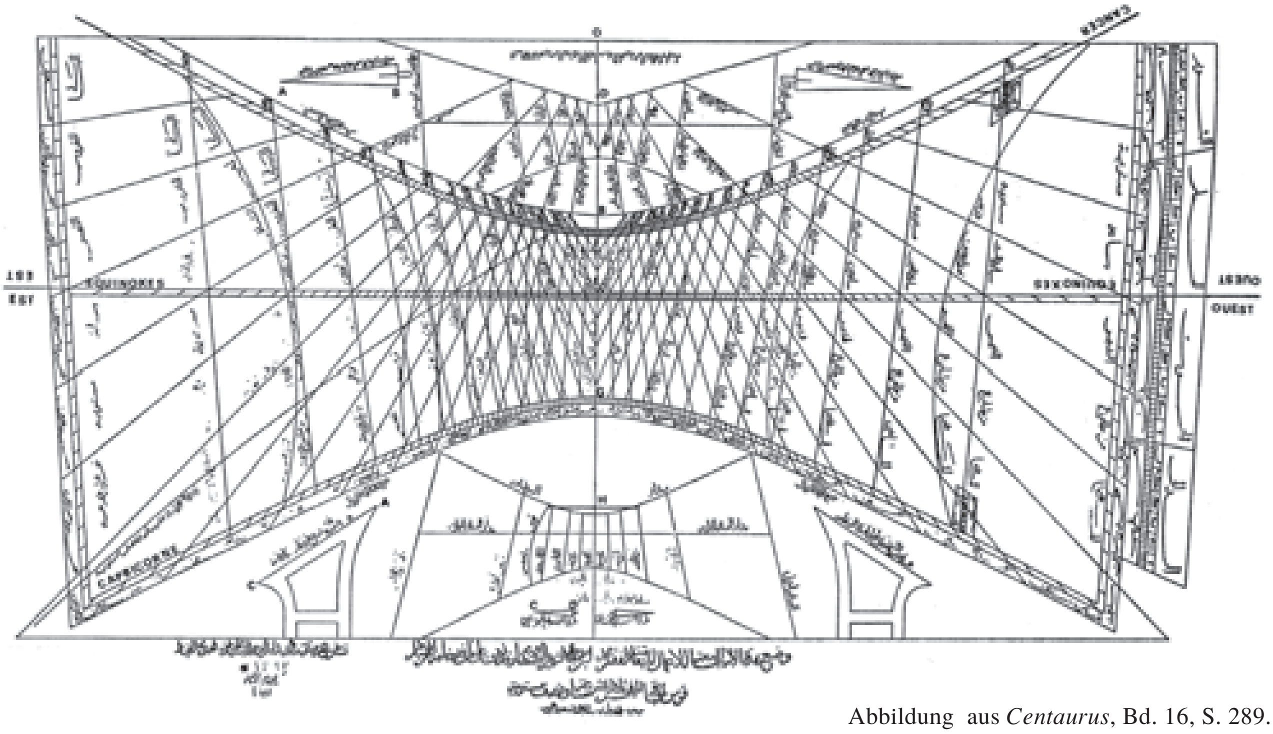
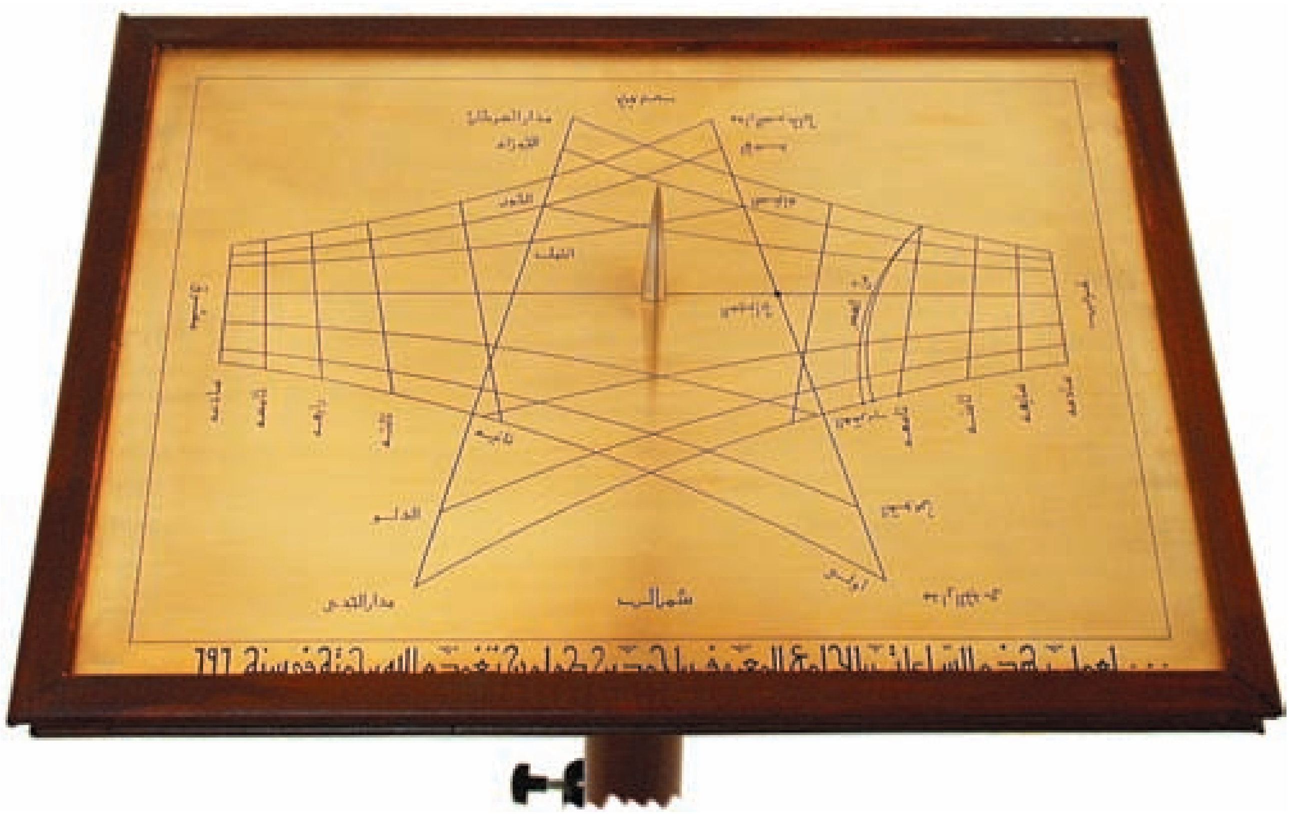


Abbildung aus *Centaurus*, Bd. 16, S. 289.

[3] Abdul Kader Rihaoui, *Inscription inédite à la Mosquée des Omeyyades appartenant à un instrument astronomique*, in: Les annales archéologiques de Syrie (Damaskus) 11-12/ 1961-62/209-212 (Nachdruck in: E.S. Kennedy und Imad Ghanem (Eds.), *The Life and Work of Ibn al-Shāṭir, An Arab Astronomer of the Fourteenth Century*, Aleppo 1976, S. 69-72).

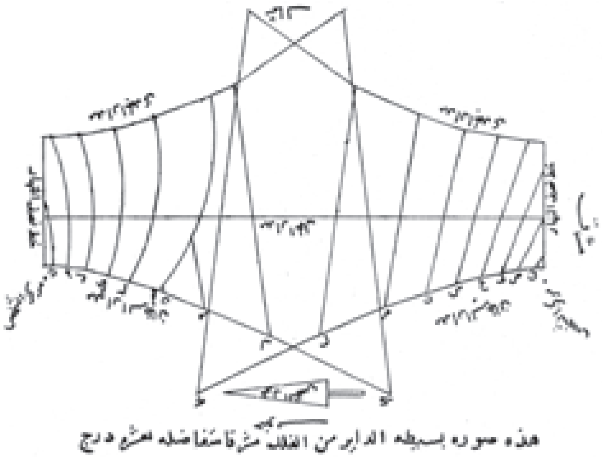
[4] Louis Janin, *Le cadran solaire de la Mosquée Umayyade à Damas*, in: Centaurus (Kopenhagen) 16/1972/285-298.



Die
Sonnenuhr
von Ibn al-Muhallabī

Unser Modell:
Gravierte Messingplatte: 37 × 47 cm,
eingelassen in einen Tisch aus Hartholz.
Fuß aus Messing.
(Inventar-Nr. B 2.02)

Die Sonnenuhr, die Zainaddīn ʿAbdarraḥmān b. Muḥammad Ibn al-Muhallabī al-Mīqātī, ein ägyptischer Moscheeastronom (*muwaqqit*), in seinem Buch *ʿUmdat aḏ-ḏākir li-waḍʿ ḫuṭūṭ faḍl ad-dāʾir* im Jahre 829/1426 beschrieben und gezeichnet hat, ist in einer Handschrift der Chester Beatty-Bibliothek in Dublin erhalten.[1] Sie war für die Breite von Kairo (30°) berechnet. Ihre ungewöhnliche, zweiteilige Konstruktion teilt sie mit der Sonnenuhr der Ibn Ṭūlūn-Moschee in Kairo von 696/1296, deren Überreste um 1800 in der napoleonischen *Description de l'Egypte* abgebildet wurden.[2]



[1] No. 3641 (kopiert 858/1455), fol. 11b.
[2] L. Janin und D.A. King, *Le cadran solaire de la mosquée d'Ibn Ṭūlūn au Caire*, in: Journal for the History of Arabic Science (Aleppo) 2/1978/331-357 (Nachdruck in: D.A. King, *Islamic Astronomical Instruments*, London 1987, No. XVI).

Unser Modell:
Maßstab: 1:1,5.
Höhe: 100 cm.
Plexiglas und Messing.
(Inventar-Nr. B 1.02)

Pseudoarchimedische Wasseruhr in arabischer Überlieferung

Ein höchstwahrscheinlich pseudo-archimedischer Traktat über eine Wasseruhr erreichte relativ früh den arabisch-islamischen Kulturkreis. Der Wissenschaftshistoriker Ibn an-Nadīm[1] registriert unter den in der islamischen Welt bekannten Werken von Archimedes ein *Kitāb Ālat sāʿāt al-māʾ allatī tarmī bi-l-banādiq*. Donald R. Hill, der das Büchlein untersucht und ins Englische übersetzt hat,[2] vertritt die Ansicht, daß die ersten vier Kapitel aus einer griechischen Vorlage übersetzt wurden und die weiteren Teile im arabisch-islamischen Kulturkreis entstanden sind. Es war Baron Carra de Vaux,[3] der auf die Existenz des Archimedes zugeschriebenen Traktates über die Wasseruhr in einer Pariser Handschrift (Bibliothèque nationale, ar. 2468) aufmerksam gemacht hat. Danach haben Eilhard Wiedemann und Fritz Hauser den Traktat nach der Pariser und zwei weiteren Handschriften (London und Oxford) ins Deutsche übersetzt.[4] Heute sind insgesamt sieben Handschriften bekannt. Unsere Abbildungen (s. unten) sind der İstanbuler Handschrift der Sammlung Ayasofya 2755 (fol. 70b-80b) entnommen.

[1] *Kitāb al-fihrist*, ed. Gustav Flügel, Leipzig 1872, S. 266.
[2] D.R. Hill, *On the Construction of Water-Clocks*. An Annotated Translation from Arabic Manuscripts of the Pseudo-Archimedes Treatise, London 1976 (Occasional Paper. No. 4); ders., *Arabic Water-Clocks*, Aleppo 1981, S. 15-35.
[3] *Notice sur deux manuscrits arabes*, in: Journal Asiatique (Paris), 8e ser., 17/1891/295ff.
[4] *Uhr des Archimedes und zwei andere Vorrichtungen*. 1. *Über eine dem Archimedes zugeschriebene Uhr*, in: Nova Acta. Abhandlungen der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle 103/1918/163ff. (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften zur arabisch-islamischen Wissenschaftsgeschichte*, Frankfurt 1984, Bd. 3, S. 1629ff.).

Die Uhr zeigt ungleichmäßige Temporalstunden an zwei Säulen an, in welchen sich je ein Gewicht an einer Stundenskala vorbeibewegt (links aufwärts, rechts abwärts). Ferner wird jede Stunde eine Kugel ausgelöst und fällt, dem Schnabel eines Vogels entgleitend, auf eine Glocke. Außerdem ändern die Augen des auf der Uhr abgebildeten Gesichts die Farbe. Im Laufe eines Tages bzw. einer Nacht gleichmäßig aus einem Tank auslaufendes Wasser treibt und steuert den zugrundeliegenden Mechanismus, dessen Geschwindigkeit (über den Wasserdurchsatz) durch Drehen des abgewinkelten Rohrendes auf einem halbkreisförmigen Kalenderblatt der Jahreszeit angepaßt wird.

Den Nachbau der Uhr verdanken wir Herrn Professor André Wegener Sleeswyk, Rijksuniversiteit Groningen, der die Uhr auch beschrieben hat: *Archimedisch: de Mijlenteller en de Waterklok*. Natuurkundige Voordrachten N.R. 67. Lezing gehouden voor de Koninklijke Maatschappij voor Natuurkunde Diligentia te s'Gravenhage of 19 september 1988.

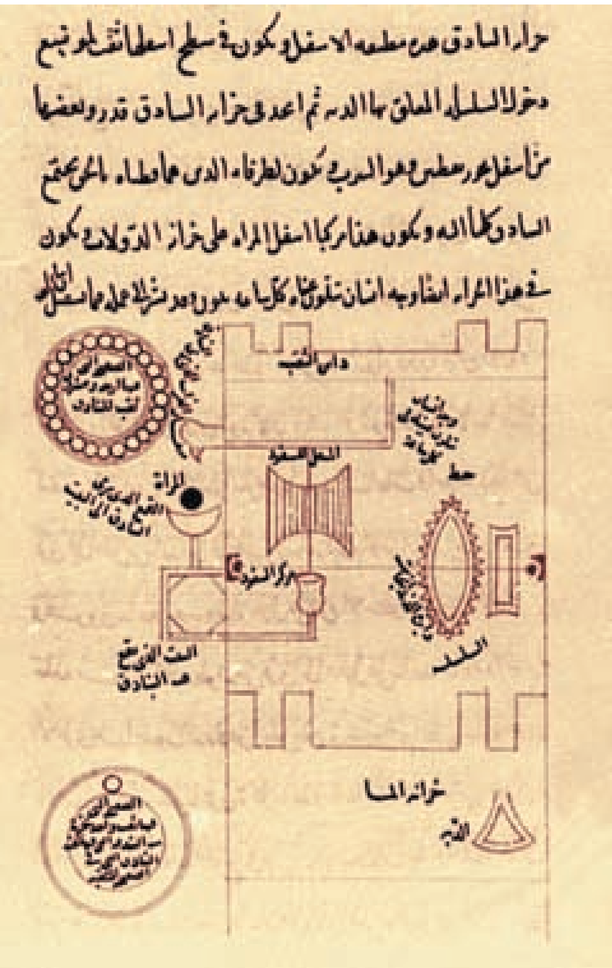


Abb in der Hds. İstanbul, Ayasofya 2755 (fol. 70b-80b).

Die

«Kerzenuhr mit dem Schreiber»

al-Ǧazarī (um 600/1200) beschreibt in seinem Buch[1] eine von einem Yūsuf[2] al-Asṭurlābī gebaute Kerzenuhr (*finkān al-kātib*), die er an verschiedenen Punkten bemängelt und durch eine eigene Konstruktion ersetzt. Über ihre Funktion sagt er: «Die Sache funktioniert folgendermaßen: Man setzt die Kerze mit Sonnenuntergang in das Futteral und legt eine Kugel nach der anderen in den Schnabel, bis zu 15 Stück. Dabei befindet sich das Schreibrohr außerhalb des ersten Grades. Man zündet nun die Kerze an. Ihre Flamme ist größer als die Flamme einer Kerze, die ohne eine Vorrichtung brennt. Dies rührt daher, daß sich das Wachs um den Docht ansammelt. Das Schreibrohr wandert, bis seine Spitze auf das erste Zeichen gelangt ist; es ist dies 1 Grad; dann ist von der Nacht 1 Grad einer Stunde (4 Minuten) verflossen. Ist die Spitze bis zum 15. Grad gelangt, so wirft der Falke in den Untersatz des Leuchters eine Kugel. So geht es, bis die Nacht zu Ende ist. Im Untersatz sind so viel Kugeln, als die Nacht Stunden hat. Das Schreibrohr gibt die Grade, die aus den Kugeln sich nicht ergeben».[3]

Unser Modell: Gesamthöhe: 60 cm. Holz mit gravierten Messing-Blenden. Kerzenhalter aus Messing. Kupferschale mit aufgelöteten Messing-Ornamenten. Figuren aus geschnitztem Holz. (Inventar-Nr. B 3.10)

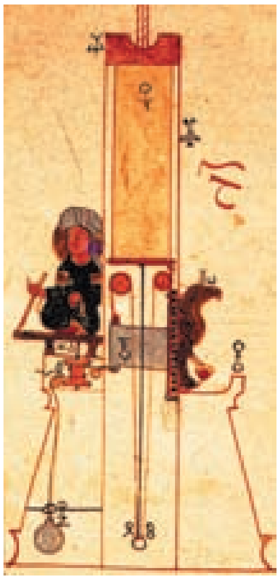


Abb. aus al-Ǧazarī, *al-Ǧāmiʿ*.

[1] *al-Ǧāmiʿ bain al-ʿilm wa-l-ʿamal* (Hds. İstanbul, Topkapı Sarayı, Ahmet III, No. 3472), 151-152; D.R. Hill, *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices* S. 87-89.
[2] In einigen Handschriften Yūnus statt Yūsuf.
[3] Übersetzt von E. Wiedemann und F. Hauser, *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur*, a.a.O. S. 157 (Nachdruck, a.a.O. S. 1367).

Die andalusische

«Kerzenuhr mit zwölf Türen»

Unser Modell (aufgeklappt): Durchmesser: 50 cm. Holz mit gravierten Messingblenden. Becher und Mechanik aus Messing. (Inventar-Nr. B 3.09)

Wie der andalusische Polyhistor Lisānaddīn Ibn al-Ḫaṭīb (Muḥammad b. ʿAbdallāh b. Saʿīd, gest. 776/1374) berichtet, soll der Herrscher von Granada Muḥammad V. (reg. 1354-1359, 1362-1391) anläßlich des Maulid (Feier des Geburtstages) des Propheten Muḥammad im Jahre 763/1362 eine für die Nachtstunden bestimmte Uhr vorgeführt haben. Nach der Entdeckung der Handschrift des lange für verloren gehaltenen dritten Teils der *Nufāḍat al-ǧirāb fī ʿulālat al-iġtirāb* des Ibn al-Ḫaṭīb[1] hat der spanische Arabist E. García Gómez[2] den betreffenden Text herausgegeben und ins Spanische übersetzt.

[1] Teil 3, hsg. von as-Saʿdīya Fāġiya, Rabat 1989, S. 278-279.
[2] *Foco de antigua luz sobre la Alhambra desde un texto de Ibn al-Jaṭīb en 1362*, Madrid 1988, S. 131ff.; s. noch J. Samsó, *Las ciencias de los antiguos en al-Andalus*, Madrid 1992, S. 443-444.

Der Behälter der Uhr besteht aus einem abgedeckten zwölfeckigen Holzgehäuse mit zwölf Türen. In der Mitte der Decke steht eine in zwölf gleiche Teile geteilte Kerze. Beim Abbrennen der Kerze werden nacheinander zwölf mit einem Gegengewicht beschwerte Stifte aus dem Wachs gelöst. Die Stifte sind so angebracht, daß der Abstand zwischen ihnen der Brenndauer einer Stunde entspricht. Fällt ein Stift herunter, so zieht das Gegengewicht jeweils einen weiteren Stift mit sich, der ein Gitter in einer der Türen freigibt. Dieses fällt in einer Schiene im Innern der Uhr herunter, wodurch in der Türöffnung ein eingerollter Zettel mit Versen erscheint, die die vergangene Nachtstunde beschreiben. Gleichzeitig fällt eine Kugel in einen Becher und erzeugt ein akustisches Signal. An der Zahl der geöffneten Türen lassen sich die verflossenen gleichmäßigen Stunden ablesen.

Wasseruhr

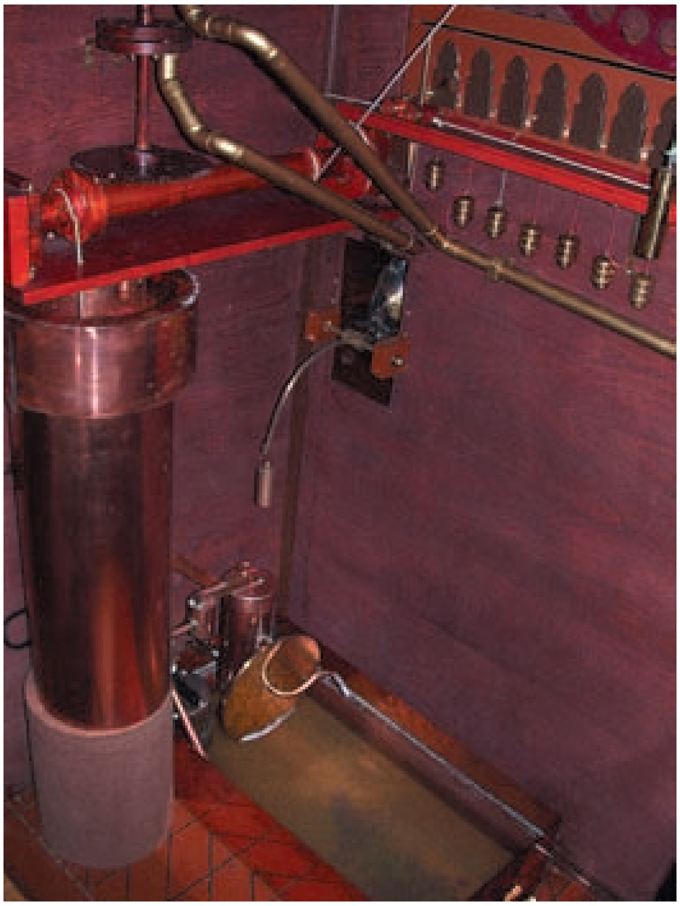
von Riḍwān as-Sāʿātī

Maßstab: 1:2,5.
Maße: 130 × 80 × 180 cm.
Hartholz mit eingelegten Perlmutt-Verzierungen.
Vögel und Schalen aus Messing.
Glastüren mit Messingrahmen auf der Rückseite.
Wasserbehälter im Inneren der Uhr aus Kupfer.
(Inventar-Nr. B 1.01)

Riḍwān «der Uhrmacher» hat die von seinem Vater Muḥammad b. ʿAlī (gest. 618/1231) gebaute, nach dessen Tod weitgehend verkommene Wasseruhr wieder hergerichtet und sie mit ihren Teilen ausführlich in einem Uhrenbuch beschrieben. Von dem Buch sind nach unserer Kenntnis zwei Handschriften erhalten, eine in Istanbul, Sammlung Köprülü 949, die andere in Gotha, Forschungsbibliothek 1348. Das Buch wurde 1915 von Eilhard Wiedemann nach der Handschrift Gotha ins Deutsche übersetzt.[1]

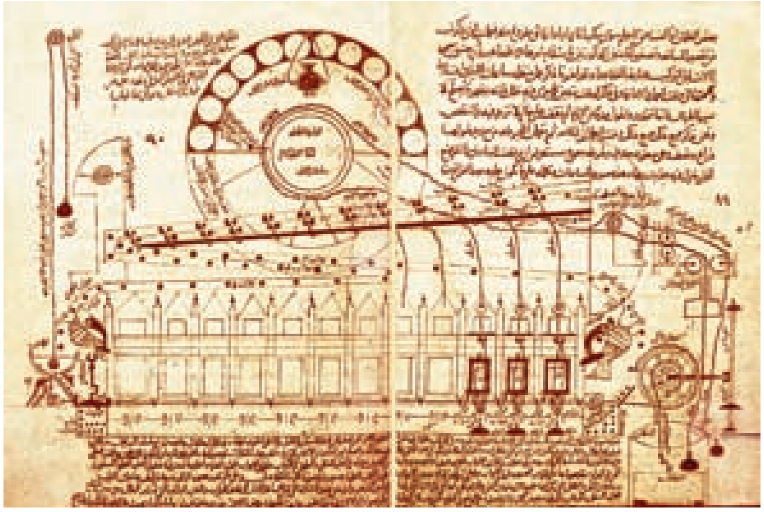
Die Wasseruhr ist nach dem Prinzip der ungleichen oder Temporalstunden (*sāʿāt zamānīya*) konzipiert. Die Zeit von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang (bzw. Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang) wird in jeweils zwölf Teile geteilt. Der kalendarische Unterschied des Sonnenverlaufs wird

[1] E. Wiedemann und Fritz Hauser, *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur*, in: Nova Acta. Abhandlungen der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle 100/1915/176-266 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften*, Frankfurt 1984, Bd. 3, S. 1386-1476). Das Buch wurde von M.A. Dahmān nach der Hds. Köprülü 1981 in Damaskus herausgegeben. Faksimile in Vorbereitung am Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften, Frankfurt. Zur Biographie des Verfassers s. Ibn Abī Uṣaibiʿa, *ʿUyūn al-anbāʾ fī ṭabaqāt al-aṭibbāʾ*, Kairo 1299 H., Bd. 2, S. 183-184; Yāqūt al-Ḥama-wī, *Iršād al-arīb ilā maʿrifat al-adīb*, ed. D.S. Margoliouth, Bd. 4, London 1927, S. 211-212; aṣ-Ṣafadī, *al-Wāfī bi-l-wafayāt*, Bd. 14, Wiesbaden 1982, S. 128-129; C. Brockelmann, *Geschichte der arabischen Litteratur*, Supplementband 1, Leiden 1937, S. 866.



Innenansicht unseres Nachbaus.

durch Verstellen der Ausflußdüse des Wassers im Innern der Uhr reguliert. Diese wird auf einer Platte, die auf den Kalender von Frankfurt a.M. berechnet wurde, in die Position des jeweiligen Sternzeichens verschoben. Die Mechanik wird durch Wasser angetrieben, welches zwischen Sonnenaufgang und -untergang (bzw. umgekehrt) aus einem Behälter ausläuft und dabei einen Schwimmer antreibt. Gleichmäßige Entleerung wird durch einen Druckausgleich bewirkt. Die zwölf Zeitabschnitte der Temporalstunden werden angezeigt, indem sich nach jeder Tagesstunde eine Tür der Frontseite wendet. Eine Mondsichel über den Türen zeigt zudem ein Viertel dieser Perioden an, indem sie von links nach rechts nacheinander 48 goldene Nägel passiert. Neben den optischen Anzeigen sind nach jeder Tagesstunde zwei akustische Signale zu hören, die dadurch entstehen, daß zwei Falkenfiguren aus ihren Schnäbeln je eine Kugel in einen Becher fallen lassen. Während der Nacht werden nacheinander zwölf erleuchtete Kreise einer Scheibe freigegeben, die auf dem Dach der Uhr, von einer Lampe erhellt, die Stunden anzeigen.



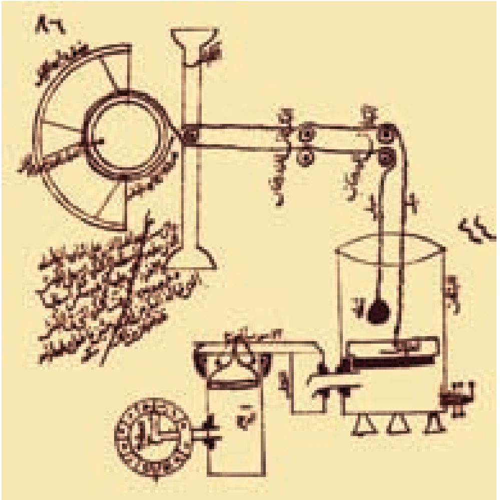
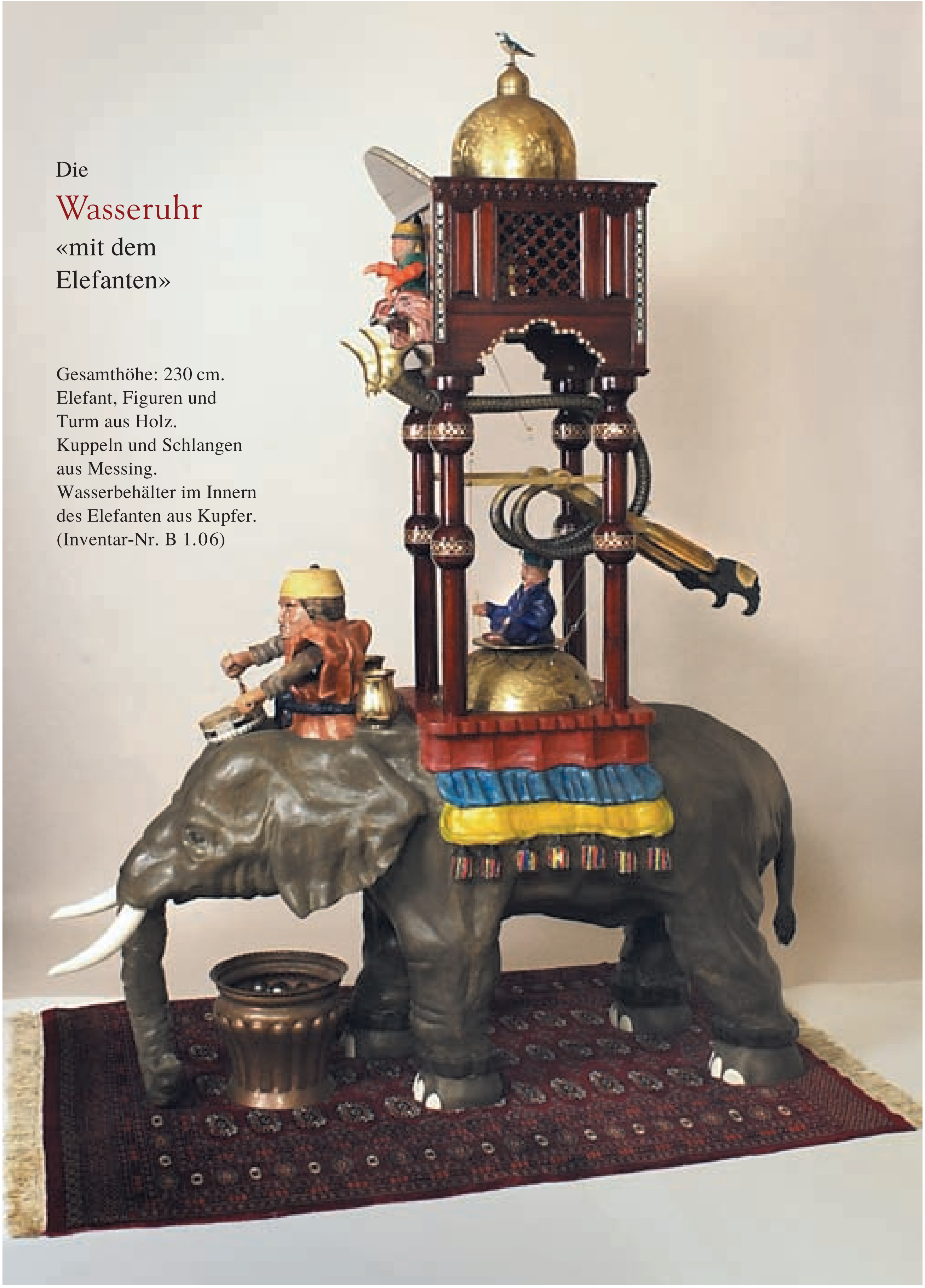


Abbildung aus der Handschrift Köprülü.



Die
Wasseruhr
«mit dem
Elefanten»

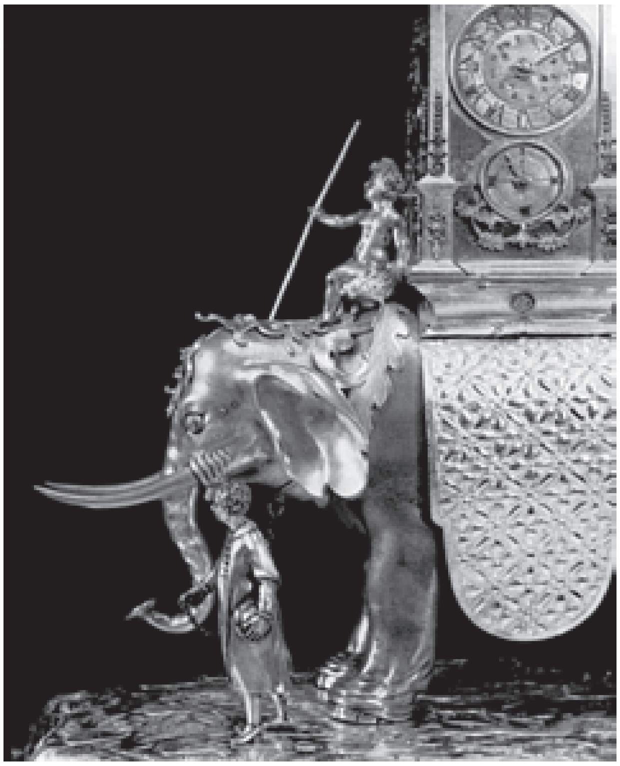
Gesamthöhe: 230 cm.
Elefant, Figuren und
Turm aus Holz.
Kuppeln und Schlangen
aus Messing.
Wasserbehälter im Innern
des Elefanten aus Kupfer.
(Inventar-Nr. B 1.06)

Abb. aus
al-Ǧazarī, *al-Ǧāmiʿ*.
Hs. İstanbul, Topkapı
Saray, Ahmet III 3472,
S. 90.

Rekonstruktion einer von al-Ǧazarī um 600/1200 ersonnenen und in seinem Buch *al-Ǧāmiʿ bain al-ʿilm wa-l-ʿamal* beschriebenen Wasseruhr in Originalgröße.
Es handelt sich um eine Wasseruhr, die 48 Intervalle im Abstand von 30 Minuten signalisiert und somit 24 gleichmäßige Stunden anzeigt. (Zur Vorführung wurde der Zeitabstand bei der Rekonstruktion auf etwa drei Minuten verkürzt.) Ein «Schreiber», auf dem Rücken des Elefanten sitzend, zeigt diese Intervalle an, indem er sein Schreibrohr nach je einer halben Stunde diskret um einen Teilstrich verschiebt. Die Uhr zeigt außerdem halbe und volle Stunden, indem eine Figur im Turm den rechten Arm bei jeder vollen, den linken bei jeder halben Stunde hebt. Die Mechanik wird alle 30 min. durch einen halbkugelförmigen Schwimmer in Gang gesetzt, der im Körper des

Elefanten auf einer mit Wasser gefüllten Wanne treibt. Er hat ein genau berechnetes Loch an seiner Unterseite, durch welches in 30 min. soviel Wasser eindringt, daß er keinen Auftrieb mehr besitzt und sinkt. Dabei wird über einen Faden eine Kugel im Turm ausgelöst und versetzt bei ihrer Abwärtsbewegung mehrere Figuren in Bewegung. Ein Vogel dreht sich, die Figur im Turm hebt abwechselnd die Arme, zwei Schlangen bewegen sich nach unten und ziehen den Schwimmer wieder in seine ursprüngliche Position. Der Schreiber bewegt sich, und die auf dem Kopf des Elefanten sitzende Figur schlägt mit einer Peitsche in der Rechten den Elefanten und mit der Linken eine Trommel.

Literatur: al-Ǧazarī, *al-Ǧāmiʿ*, Faksimile Frankfurt 2002, S. 88-96; E. Wiedemann, *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur*, a.a.O. S. 116-134 (Nachdruck, a.a.O. S. 1326-1344); D.R. Hill, *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices*, S. 58-70.



Elefantenuhr (17. Jh.) im Bayerischen Nationalmuseum.

Die Elefantenuhr scheint den Geist der Hersteller von Figurenuhren in Europa im 16. und 17. Jahrhundert angeregt zu haben. Mehrere Elefantenuhren sind zur Zeit bekannt. Eine davon stammt aus dem frühen 17. Jahrhundert und steht im Bayerischen Nationalmuseum in München.[1]
Eine zweite, von ca. 1580, befindet sich in Privatbesitz, ebenfalls in München.[2]
Zu einer dritten, die um 1600 in Augsburg hergestellt wurde und sich 1980 in Privatbesitz befand, s. *Die Welt als Uhr*, S. 266, No. 92.

Elefantenuhr (um 1600) in Privatbesitz.

[1] *Die Welt als Uhr. Deutsche Uhren und Automaten 1550-1650*, ed. Klaus Maurice und Otto Mayr, München 1980, S. 266, Nr. 93;
[2] *Die Welt als Uhr*, S. 264, No. 91.

Becheruhr
von al-Ǧazarī

Unser Modell:
Messing, gehämmert, teilweise graviert.
Holz und Plexiglas.
Geschnitzte Figur aus Birnenholz.
Elektropumpe zum Auffüllen des Wassers.
(Inventar-Nr. B 1.10)

Unter den zahlreichen Uhren, die al-Ǧazarī (um 600/1200) in seinem *Ǧāmiʿ bain al-ʿilm wa-l-ʿamal* anführt, beschreibt er die Becheruhr als eigene Erfindung[1]: «Der Herrscher aṣ-Ṣāliḥ Abu l-Fatḥ Maḥmūd b. Muḥammad b. Qarā-arslān … forderte mich auf, ein Instrument herzustellen, das keine Ketten und keine Waagen (*mīzān*)[2] und keine Kugeln enthält, das sich nicht schnell verändert und nicht verdirbt, und aus dem man den Ablauf der Stunden und deren Teile ersieht. Es sollte eine schöne Gestalt haben und auf der Reise und im Hause ein Gefährte sein. Ich strengte meinen Verstand an und stellte es in folgender Weise her. Die Uhr besteht aus einem Gefäß auf einer Basis, oben ist sie mit einem ebenen Deckel bedeckt. Um dessen Umfang läuft eine ziselierte Galerie (*šurfa*) und auf der Galerie ist ein zierlicher horizontaler Ring, der in 217 $^1/_2$ (= 14 $^1/_2$ × 15) Teile geteilt ist; je 15 Teile entsprechen einer gleichmäßigen Stunde.»

[1] Faksimile-Ed. Ankara S. 119-126; deutsche Übers. E. Wiedemann und F. Hauser, *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur*, in: Nova acta. Abhandlungen der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher (Halle) 100/1915/1-272, bes. S. 134-141 (Nachdr. in: *Gesammelte Schriften*, Bd. 3, S. 1211-1482, bes. S. 1344-1351); engl. Übers. D.R. Hill, *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices*, a.a.O. S. 71-74.

[2] Dazu bemerkt Wiedemann: «Waagen und Kippvorrichtungen werden bei zahlreichen Kunststücken verwendet.»

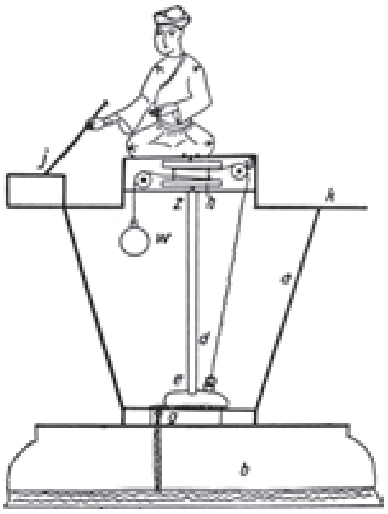
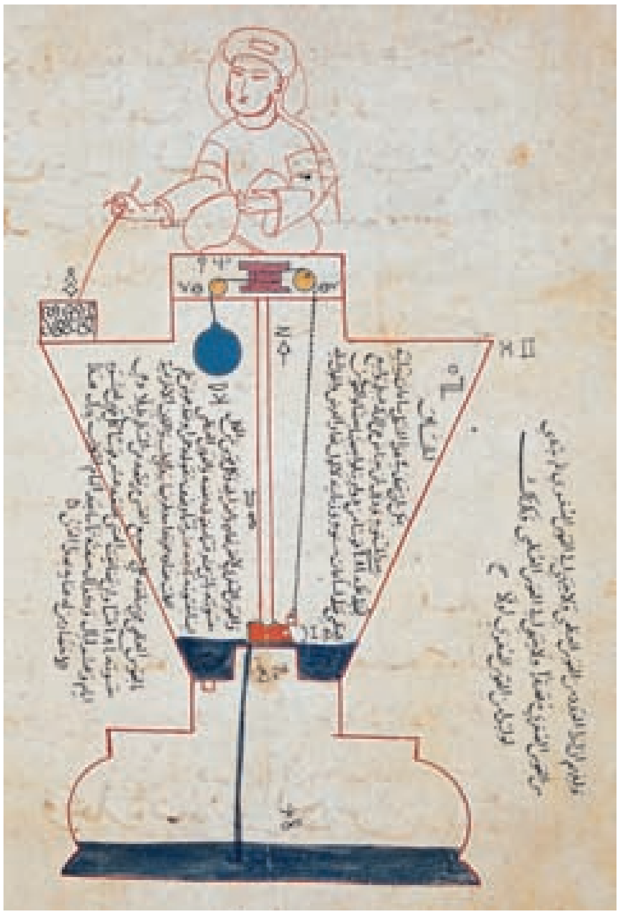


Abb. aus E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften*, Bd. 3, S. 1345.



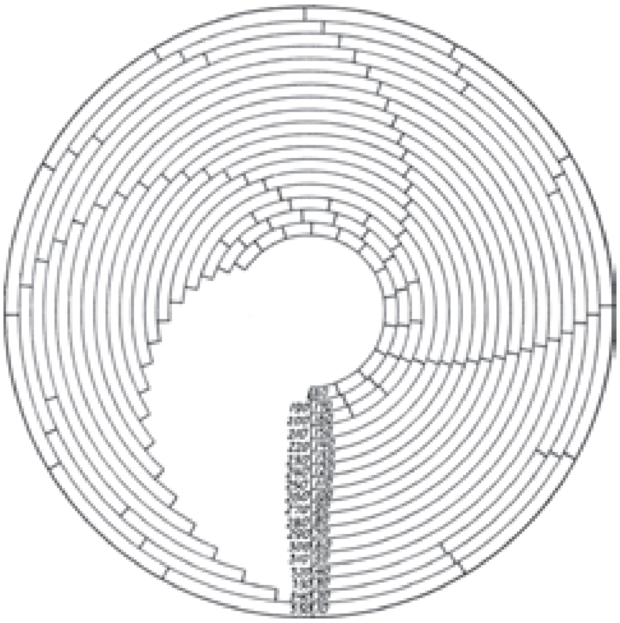
Zeichnung bei *al-Ǧazarī,* Hs. İstanbul.

«In der Mitte sitzt auf einem Sitzplatz ein Schreiber, der in der Hand ein Schreibrohr hält, dessen Ende auf dem Ring ein wenig außerhalb des ersten Teilstriches liegt. Er wandert vom Anfang des Tages an regelmäßig nach links, so daß man es fast nicht merkt, bis er zum ersten Teil der 15 Teile der gleichmäßigen Stunden gelangt und vom Tage eine Stunde verflossen ist.»[3]
In dem Gefäß befindet sich eine Wasseruhr. Sie zeigt Tagesstunden an, die an der Position des Schreibrohres oben auf der Platte abzulesen sind. Die Zeit zwischen Sonnenaufgang und -untergang wird dabei in zwölf Teile geteilt, die sogenannten Temporalstunden. Dem kalendarischen Unterschied des Sonnenverlaufs wird vor Beginn durch Verstellen des Schreibrohres in Richtung des Durchmessers, wo verschiedene Skalen aufgetragen sind (s.u.), Rechnung getragen.
Um eine gleichbleibende Winkelgeschwindigkeit des Zeigers zu gewährleisten muß bei allen Wasseruhren das Problem des vom Volumen abhängigen Wasserdrucks gelöst werden, wozu es verschiedene Ansätze gab (s.o.).
Die entscheidende Leistung im vorliegenden Fall besteht darin, eine Becherform zu konstruieren welche die Abnahme des Wasserdruckes bei sinkendem Pegel durch einen geringeren Volumenstrom ausgleicht (d.h. der Behälter verengt sich genau so, daß trotz abnehmendem Ausfluß der Pegel stetig sinkt; in den Handschriften (s.o.) sieht man den Becher trichterförmig dargestellt, im Text wird allerdings beschrieben[4], wie man sich empirisch der Parabel – welche wir unserem Modell zugrunde legten – genähert hat). Ein an einer Zentralspindel absinkender Schwimmer versetzt mittels eines Seils und Rades den Schreiber mit seinem Stift in eine konstante Drehung.
Der längste Tag am Konstruktionsort der Uhr betrug 14,5 Stunden. Die genaue Berechnung des Durchmessers des Seilrades bewirkt, daß sich der Schreiber an diesem Tag genau einmal zwischen Sonnenauf- und -untergang um sich selbst dreht. Die Zeit ist an diesem Tag an der äußeren Einteilung der Platte abzulesen, vorausgesetzt das Schreibrohr wurde auf diese Position gesetzt. Der kürzeste Tag hat 9,5 Stunden. Diese sind auf dem inneren Kreisring der Platte abzulesen.

[3] Übersetzung (mit geringfügigen Abweichungen) von E. Wiedemann, *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur*, a.a.O. S. 134-135 (Nachdr., a.a.O. S. 1344-1345).

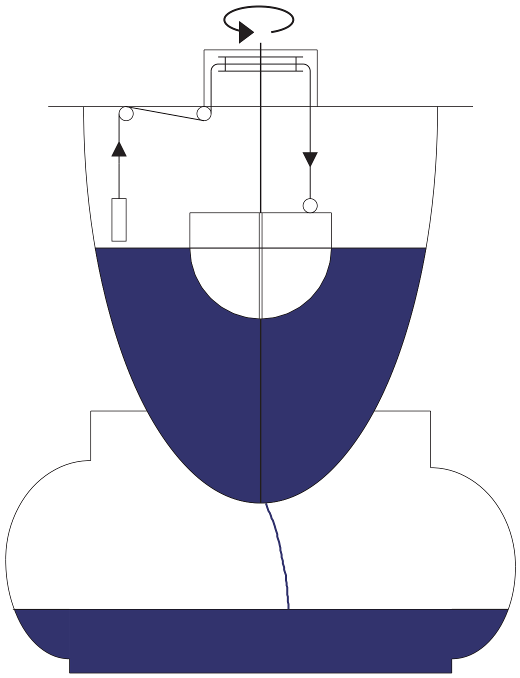
[4] ebd. S. 136. (Nachdr. S. 1346).

Die Einteilung der Scheibe hat E. Wiedemann nach al-Ǧazarī's Beschreibung folgendermaßen dargestellt:



«Diese Figur gibt nach den Angaben des Textes eine Draufsicht auf die Platte der Becheruhr für die ‹zeitlichen› Stunden. Die Stundeneinteilung wurde nur in einem Teil der Kreise vollständig durchgeführt»
(Wiedemann, Gesammelte Schriften, Bd. 3, S. 1350)

«Die Einteilung der Scheibe war wohl so, wie es in der vorstehenden Figur für eine mit 18 Teilen (je 10 Tagen entsprechend) versehene Alhidade dargestellt ist. Die 18 Kreisbögen begannen alle an einem eingezeichneten Radius, welcher der Anfangsstellung des Schreibers bei gefülltem Becher entsprach. Sie setzten sich dann von hier aus nach links soweit fort, bis sie je an einen Radius gelangten, welcher der Stellung des Schreibrohres bzw. der Alhidade bei Sonnenuntergang an dem dem betreffenden Bogen entsprechenden Tag entsprach; vorausgesetzt, daß die Uhr bei Sonnenaufgang in Bewegung gesetzt worden war. Da dem längsten Tag der äußerste Bogen entsprach, so erhielt man damit ein System konzentrischer Kreisbögen, die gegen die Mitte zu immer kürzer wurden. Da nach der Beschreibung der Mantel des Bechers wohl so gehämmert war, daß die stündliche Drehung nahezu konstant war, und da der äußerste, dem längsten Tag von 14 ½ Stunden entsprechende Bogen einen Centriwinkel von 360° umfaßte, so umfaßte der innerste Bogen, entsprechend dem kürzesten Tag von 9 ½ Stunden, nur einen Bogen von 236°. Bei 18 Bögen war somit jeder folgende Bogen um rund 7,3° kürzer als der vorhergehende. Die einzelnen Bögen wurden dann jeder für sich in 12 gleiche Teile geteilt; der äußerste außerdem noch in 14 ½ Teile (diese letztere Teilung wurde in der obigen figur weggelassen, die erstere dagegen bei einigen Bögen vollständig durchgeführt, während die übrigen Bögen nur geviertelt wurden). Jeder Bogen entsprach – das Jahr zu 360 Tagen vorausgesetzt – je 10 Tagen sowohl bei abnehmenden als auch bei zunehmenden Tagen. Es waren somit an jedem Bogen für die ihm entsprechenden Tage zwei Zahlen einzutragen. Diese Zahlen waren jedenfalls, wie oben dargestellt, zu beiden Seiten des eingezeichneten Radius eingraviert. Begann man mit den Zahlen beim längsten Tag, so war beim kürzesten nur eine Zahl – nämlich 180 – einzutragen; begann man dagegen mit den Zahlen beim kürzesten Tag, so war dies beim längsten der Fall. Bei dieser Art des Eintragens der Zahlen kamen diese stets alle auf dieselbe Seite des zugehörigen Kreisbogens zu stehen. Der Nacht entsprach stets ein Bogen, der um 180 von dem Bogen des Tages abstand.»[5]



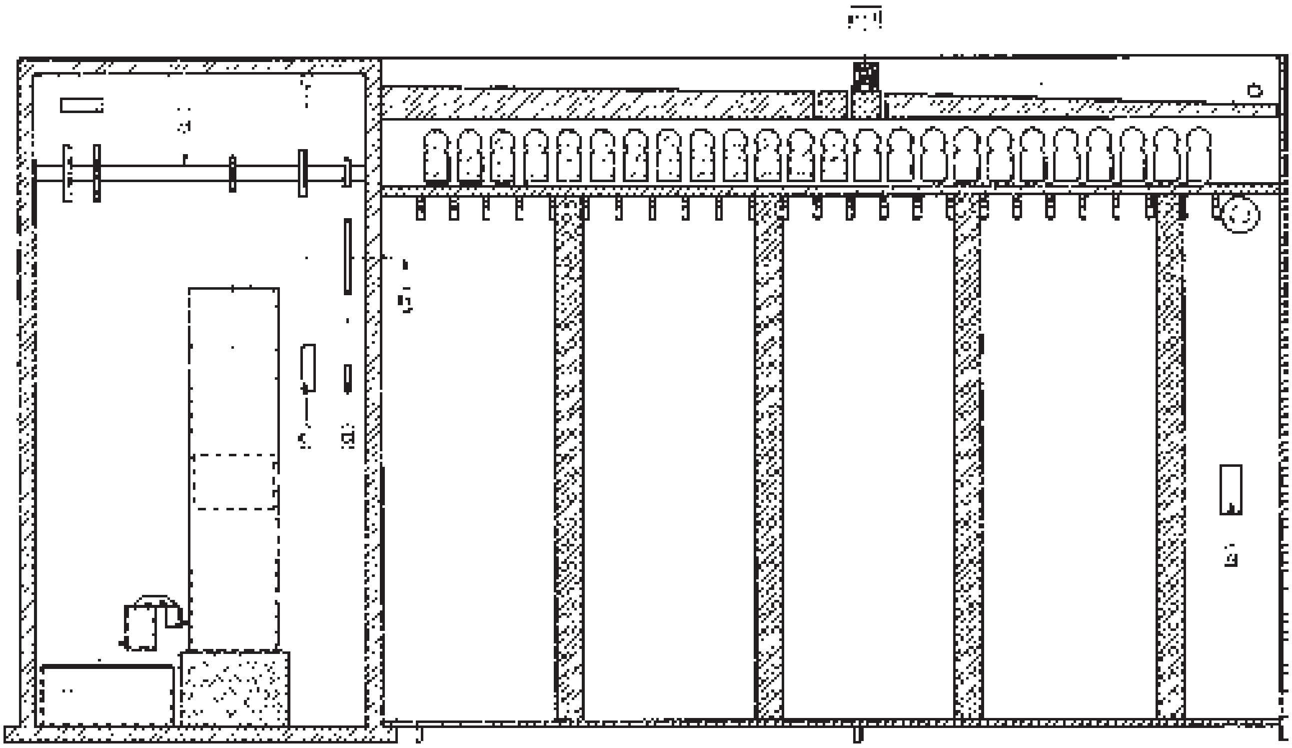
Querschnitt unseres Modells mit parabelförmigem Becher.

[5] Übersetzung (mit geringfügigen Abweichungen) von E. Wiedemann, ebd. S. 139-140 (Nachdr. S. 1349-1350).

Wasseruhr
aus Fes

Unser Nachbau:
Holz, lackiert.
Die Holzelemente einschließlich ihrer aufwendigen Bemalung in modernem Stil wurden in Marokko gefertigt.
Zifferblatt aus Messing, Durchmesser 46 cm.
24 Glocken aus Bronze.
Alle Wasserbehälter im Innern der Uhr aus Kupfer.
Breite: 4,30 m; Höhe: 2,40 m.
(Inventar-Nr. B 1.04)

Nachbau einer Uhr, deren Original sich in der Qarawīyīn Moschee in Fes (Marokko) befindet und vom Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften wiederhergestellt wurde. Der Erbauer des Originals hieß Abū Zaid ʿAbdarraḥmān b. Sulaimān al-Laǧǧāʾī. Er baute die Uhr im Jahre 763/1362 im Auftrag von Sultan Ibrāhīm b. Abi l-Ḥasan b. Abī Saʿīd.



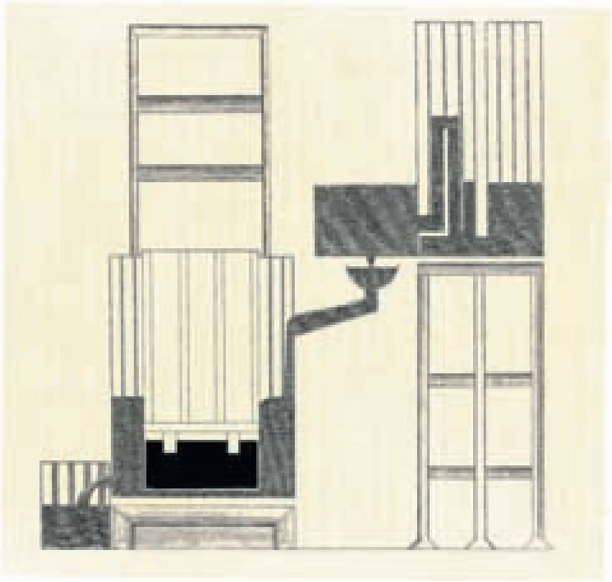
Konstruktionsschema der Wasseruhr aus Fes.

Es handelt sich um die älteste erhaltene Wasseruhr, die den Tag in 24 gleichmäßige Stunden teilt. Diese sind an einem Zifferblatt ablesbar, das in je vier Minuten unterteilt ist. Alle vier Minuten fällt eine kleine Kugel, jede Stunde eine große Kugel in eine der 24 Messingschalen und erzeugt einen Ton. Insgesamt fallen innerhalb von 24 Stunden 360 kleine und 24 große Kugeln in die Schalen und von dort in einen Sammelbehälter. Zusätzlich zu den akustischen Signalen schließt sich zu Anfang jeder Stunde eine der Holztüren, die eine Übersicht über die vergangene Zeit geben und auch aus weiter Entfernung erkennbar sind.
Der Mechanismus wird durch auslaufendes Wasser in Gang gesetzt, welches einen Schwimmer sinken läßt, an dem sämtliche Funktionsteile über Seilrollen befestigt sind. Das gleichmäßige Auslaufen wird durch einen genau berechneten Druckausgleichsbehälter erreicht. Eine ausgeklügelte, erstaunlich weit entwickelte Technik sorgt dafür, daß sich die beiden Wagen entgegengesetzt der Sinkrichtung des Schwimmers bewegen.

Literatur: ʿAbdalhādī at-Tāzī, *Ǧāmiʿ al-Qarawīyīn: al-masǧid wa-l-ǧāmiʿa bi-madīnat Fās*, Beirut 1972, Bd. 2, S. 325-326; Derek J. DeSolla Price, *Mechanical Water Clocks of the 14th Century in Fes, Morocco*, Sonderdruck aus: Proceedings of the 10th International Congress of the History of Sciences, Ithaca, 26 VIII - 2 IX 1962, Paris: Hermann 1964 (8 S.), S. 3-5.

SPANISCH-ARABISCHE UHREN

Zu den in den östlichen und zentralen Gebieten der islamischen Welt gepflegten Technologien, die rasch auch den westlichen Teil dieses Kulturkreises erreichten und dort Verbreitung und Erweiterung fanden, gehört zweifellos auch das Uhrmacherwesen. Wir sind zur Zeit noch weit davon entfernt, die Stufen der Entwicklung, die die Herstellung von Uhren im Anschluß an die Leistungen der vorangegangenen Kulturkreise in den östlichen wie den westlichen Gebieten des Islam genommen hat, auch nur annäherungsweise genau beschreiben zu können. Es ist in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung, daß in den in Toledo um 1267-68 im Auftrag von Alfonso X. von Kastilien entstandenen *Libros del saber de astronomía*, einem Buch, das im wesentlichen eine Kompilation arabisch-islamischer Wissenschaften darstellt, die auf der Iberischen Halbinsel gepflegt wurden, in einem speziellen Kapitel fünf Uhren beschrieben werden, eine Wasseruhr, eine Quecksilberuhr, eine Kerzenuhr und zwei Sonnenuhren.



aus: *Libros del saber de astronomía*, Madrid 1866, Bd. 4, S. 71

Maße: 70 × 36 × 180 cm.
Plexiglas und Messing.
Schrank aus Nußbaum und Plexiglas.
(Inventar-Nr. B 1.03)

1.
Spanisch-arabische Wasseruhr[1]

Der *relogio dell agua* ist eine der fünf in den *Libros del saber de astronomía* angeführten Uhren. Ihre ausführliche Besprechung ist mit einer Skizze versehen. Der Kompilator des Buches meint, die Beschreibungen seiner Quellen für diese Uhr seien «sehr dürftig» gewesen. Danach sei der Wasserbehälter einfach am Boden durchbohrt worden, so daß das Wasser nicht gleichmäßig, sondern wegen des abnehmenden Druckes bei sich verkleinerndem Volumen immer schwächer auslaufen würde. Diesen Mangel habe er durch eigene «subtile Erfindungen» behoben. In Wahrheit war die Vorrichtung für gleichmäßig ausströmendes Wasser nicht nur für Wasseruhren, sondern auch für weitere hydraulische Automaten im arabisch-islamischen Kulturkreis, wie schon bei den Griechen, bekannt und prinzipiell angewandt. Gemessen werden die ungleichmäßigen Temporalstunden.

Wie das Modell zeigt, gibt bei dieser Uhr das aus dem höher gelegenen Behälter über einen Druckausgleich auslaufende Wasser einem Schwimmer im unteren Behälter Auftrieb. Dadurch wird eine an diesem befestigte Tafel über die Oberkante des Behälters geführt, an der die Zeit für das jeweilige Sternzeichen abgelesen werden kann.

Unser Modell wurde von Eduard Farré (Barcelona) gebaut.

[1] Donald R. Hill, *Arabic Water-Clocks*, a.a.O. S. 126-130; Alfred Wegener, *Die astronomischen Werke Alfons X.*, in: Bibliotheca Mathematica (Leipzig), 3. Folge 6/1905/129-185, bes. S. 162-163 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 98, Frankfurt 1998, S. 57-113, bes. S. 90-91).

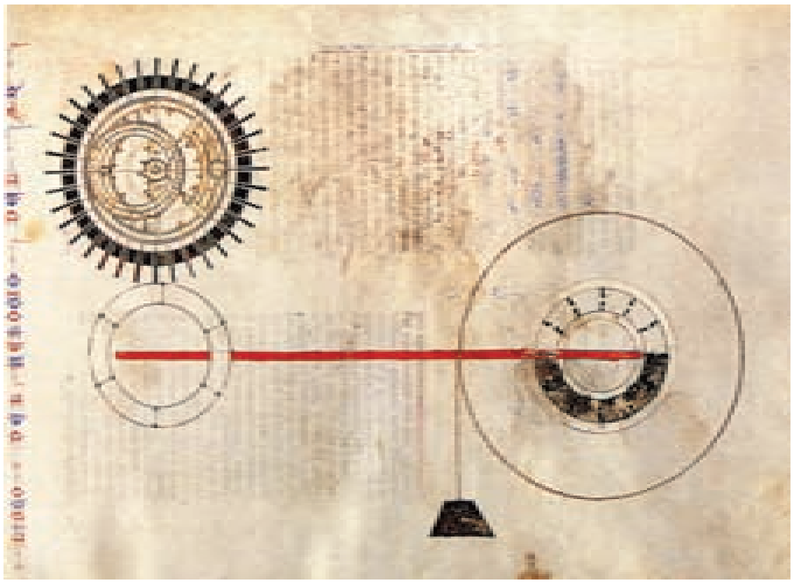
2. Quecksilberuhr

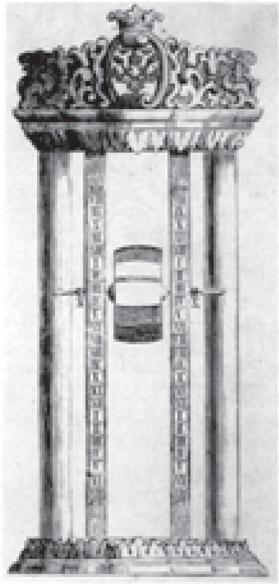
Die vierte in dem speziellen Kapitel der *Libros del saber de astronomía* angeführte Uhr ist eine Quecksilberuhr (*relogio dell argent uiuo*). A. Wegener[1] beschreibt sie folgendermaßen: «Der Mechanismus dieser Uhr besteht aus einem Rad, welches in 24 Stunden gerade eine Umdrehung ausführt. Die treibende Kraft ist ein Gewicht, die Hemmung geschieht durch Quecksilber, welches sich im Innern des Rades befindet und durch Querwände mit nur sehr kleinen Öffnungen gehemmt, dem Zug des Gewichts nur langsam nachgibt. Die Drehung dieses Rades wird auf ein Astrolabium übertragen, welches gewissermaßen als ein sehr kunstvolles Zifferblatt dieser Uhr betrachtet werden kann, auf welchem man außer den Stunden auch gleich die Stellung der Sonne und der Sterne und überhaupt den ganzen momentanen Anblick des Himmels ablesen kann. Statt des Astrolabiums, heißt es, könne man das Uhrwerk auch mit einem Himmelsglobus verbinden. Auch lasse sich durch geeignete Anbringung von Schellen eine Art Weckeruhr daraus herstellen.»
Über den Prozeß des Fortlebens und der Nachwirkung dieser Uhr auf die weitere Entwicklung in Europa liegt uns ein ausgezeichneter Aufsatz von Silvio A. Bedini unter dem Titel *The Compartmented Cylindrical Clepsydra*[2] vor. Er weist nach, daß die *Libros del saber de astronomía* vor 1341 in Florenz ins Italienische übersetzt wurden[3] und folgert: «The existence of this Italian codex is of considerable significance with relation to the subsequent development of the mercury clock in Europe and particularly in Italy, despite the fact that horological writers of the next six centuries made no reference to it.»[4]
Mehr als dreihundert Jahre nach der Alfonsinischen Kompilation taucht die Quecksilberuhr wieder in der europäischen Literatur auf, und zwar in einem 1598 in Venedig erschienenen Buch von Attila Parisio, in dem dieser sich als Erfinder der Uhr ausgibt (*Discorso Sopra la Sua Nuova Inven-*

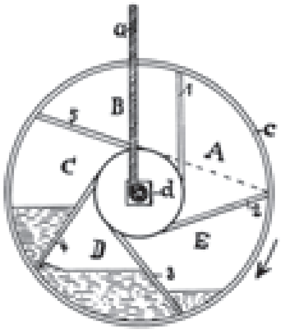
Kasten aus Holz.
Maße: 22 × 30 × 55 cm.
Uhrenscheibe aus Messing, graviert.
Holzrad mit Kammern aus Plexiglas.
Durchmesser: 25 cm.
Gebaut von Eduard Farré (Barcelona).
(Inventar-Nr. B 3.04)

[1] *Die astronomischen Werke Alfons X.*, in: Bibliotheca Mathematica (Leipzig), 3. Folge 6/1905/129-185, bes. S. 163 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 98, Frankfurt 1998, S. 57-113, bes. S. 91). S. noch E. Wiedemann und Fritz Hauser, *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur*, a.a.O. S. 18-19 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften* ..., Bd. 3, S. 1228-1229).
[2] erschienen in: Technology and Culture (Chicago) 3/1962/115-141.
[3] Bedini stützt sich dabei auf eine kurze Monographie hierüber von Enrico Narducci, *Intorno ad una traduzione italiana fatta nell'anno 1341 di una compilazione astronomica di Alfonso X. re di Castiglia*, Rom 1865 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 98, Frankfurt 1998, S. 5-36).

[4] Bedini, a.a.O. S. 118.





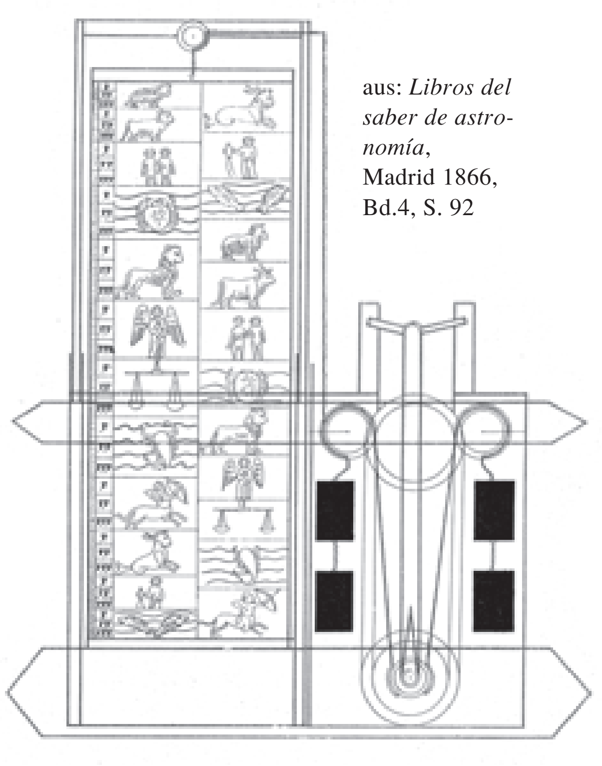


tione d'Horologio con una sola Ruota).[5] In der angeblich von ihm erfundenen Uhr war das Quecksilber durch Wasser ersetzt. Kurz nach der Publikation des Buches von Parisio erschien die Beschreibung und Abbildung dieser Uhr als eine der «Grundlagen der Bewegungskräfte» *(raisons des forces mouvantes)* von Salomon de Caus (1615).[6]

Die Uhr wird auch von Johannes Kepler erwähnt.[7] In dieser Form, die im Grunde nichts anderes war als das in den *Libros del saber de astronomía* beschriebene Exemplar, deren 12-teilige Trommel lediglich zur Hälfte mit Wasser statt mit Quecksilber gefüllt war und die von Bedini als «compartmented cylindrical clepsydra» bezeichnet wird, erfreute sie sich in Europa im 17. und 18. Jahrhundert großer Verbreitung. Einer von mehreren, leicht unterschiedlichen Typen, ist mit dem Namen des Pater Francesco Eschinardi (1648)[8] verbunden. Ein ähnliches Gerät wurde von den drei Brüdern Campani (1656) Papst Alexander VII. präsentiert.[9] Die Trommel dieser Uhr enthielt wieder Quecksilber statt Wasser und sie funktionierte ungefähr so ungenau wie die anderen. Dennoch wurde sie vom Papst als wichtige Erfindung gepriesen.[10] Von der Campani-Uhr ist nichts außer der Beschreibung einiger ihrer Konstruktionsmerkmale übriggeblieben.[11]

Nach der Uhr der Campani-Brüder erschienen weitere Versionen, nun wieder mit Wasser statt Quecksilber. Als Urheber seien genannt: Domenico Martinelli (1669),[12] Dom Jacques Allexandre, der im Jahre 1734 diesen Uhrentyp als Erfindung von Charles Vailly ausgab,[13] und M. Salmon, der in einer Abbildung seiner *L'Art Du Potier D'Etain* die Herstellung mehrerer zylindrischer Wasseruhren zeigt und damit auf ihre Beliebtheit im Frankreich namentlich des 18. Jahrhunderts schließen läßt.[14]

[5] Ebd. S. 118.
[6] *Les Raisons des Forces Mouvantes, avec diverses Machines, tant utiles que plaisantes, aus quelles sont adionts plusieurs desseings de grotes et fontaines*, Franckfort-am-Main: J. Norton, 1615, 1644 (s. Bedini, a.a.O. S. 124).
[7] s. Anton Lübke, *Die Uhr. Von der Sonnenuhr zur Atomuhr*, Düsseldorf 1958, S. 78; Bedini, a.a.O. S. 125.
[8] Bedini, a.a.O. S. 125.
[9] Ebd. S. 127-128.
[10] Ebd. S. 129.
[11] Ebd. S. 129.
[12] Ebd. S. 131-135.
[13] Ebd. S. 136.
[14] Ebd. S. 137-138.



aus: *Libros del saber de astronomía*, Madrid 1866, Bd.4, S. 92

3.
Spanisch-arabische Kerzenuhr

Diese Uhr wird als dritte, unter dem Namen *relogio de la candela*, im Uhrenkapitel der *Libros del saber de astronomía* angeführt. Sie ist dort ausführlich beschrieben und mit Abbildungen versehen.[1]

Die Kerze sitzt an der brennenden Seite in einer Manschette, so daß im Zuge ihrer Verkürzung ihre Plattform von einem Gegengewicht nach oben gedrückt werden kann. Ein mit der Plattform verbundener und einem weiteren Gegengewicht beschwerter Faden zieht dabei die Tafel, auf der eine Tabelle der ungleichmäßigen Stunden (Temporalstunden) an den zugehörigen Kalendertagen aufgetragen ist, nach oben. Am Horizont der Uhr kann die Zeit abgelesen werden, wenn das Datum bekannt ist. Die Tabelle gilt nur für eine bestimmte Klimazone.

Messing.
Gesamthöhe: 42 cm.
(Inventar-Nr. B 3.08)

Das Modell wurde von Eduard Farré (Barcelona) gebaut.

[1] A. Wegener, *Die astronomischen Werke Alfons X.*, a.a.O. S. 163-164 (Nachdruck, S. 91-92).

4.
Spanisch-arabische Sonnenuhr

Unser Modell:
Gravierte Messingplatte (30 × 60 cm),
eingelassen in einen Tisch aus Hartholz.
Fuß aus Messing.
(Inventar-Nr. B 2.04)

Der *relogio de la piedra de la sombra* wird als vierte unter den Uhren der *Libros del saber de astronomía* angeführt und ist mit einer Abbildung versehen. Der geistige Vater dieser Kompilation, Alfonso X., meint, er habe «für die Herstellung der Sonnenuhr kein Buch gefunden, welches für sich vollständig wäre, derart, daß man bei der Arbeit kein anderes Buch nötig hat.» Er habe deshalb den Auftrag gegeben, eine umfassende Beschreibung zu liefern.[1]
Die Uhr zeigt die ungleichmäßigen, die sogenannten Temporalstunden an.

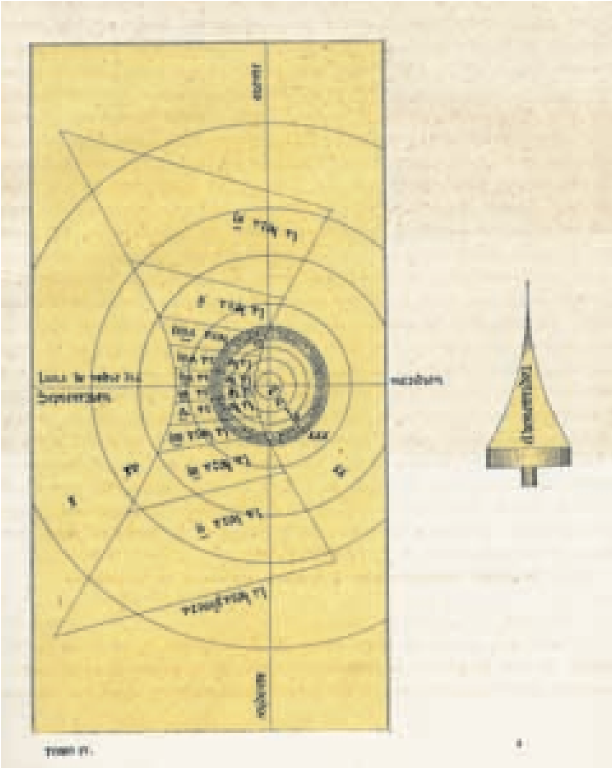
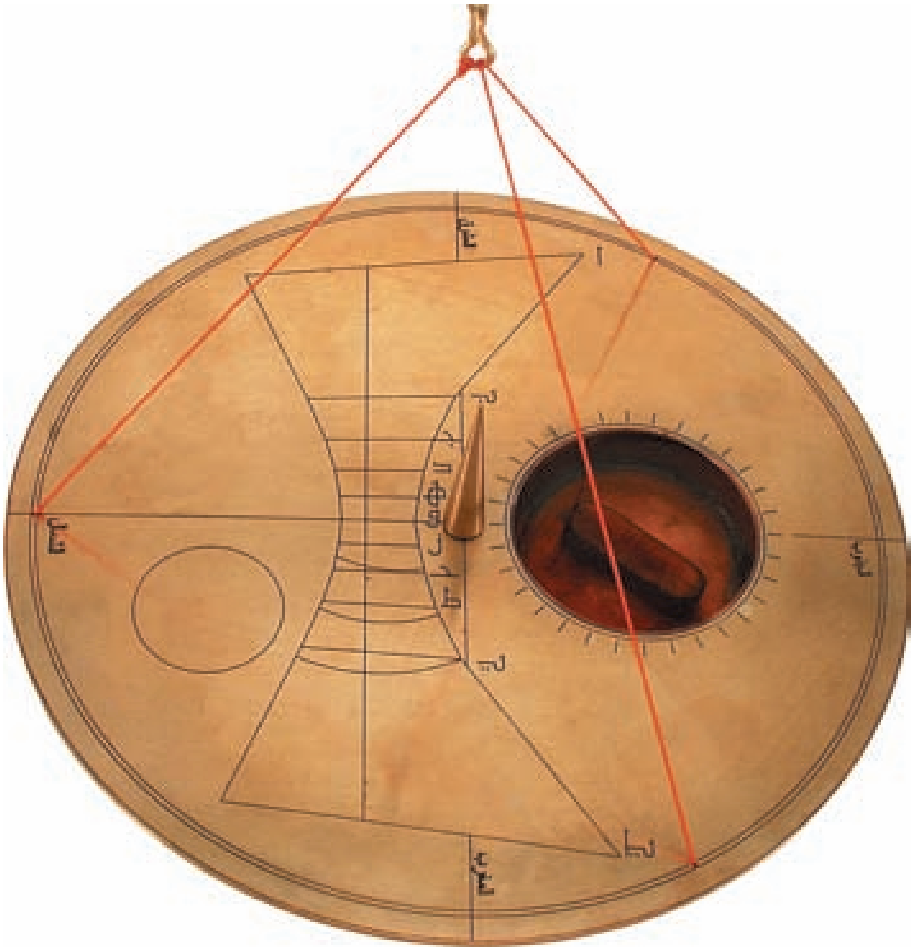


Abb. aus der modernen Edition der *Libros del saber de astronomía*, Madrid 1866, Bd.4, S. 17. Diese Rekonstrukton diente unserem Modell als Vorlage.

[1] s. A. Wegener, *Die astronomischen Werke Alfons X.*, a.a.O. S. 162 (Nachdruck, S. 90).



Sonnenuhr
von Ibn ar-Raqqām

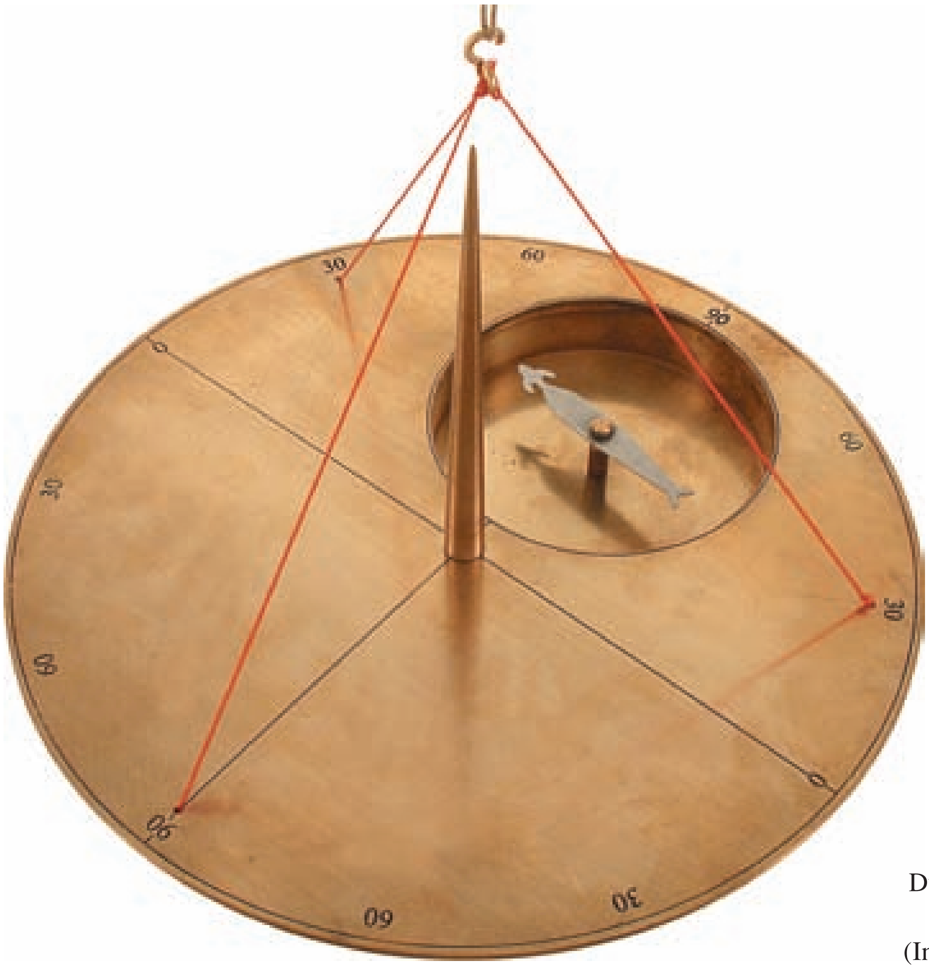
Unsere Modell:
Durchmesser: 25 cm.
Messing, geätzt.
(Inventar-Nr. B 2.13)

Im 44. Kapitel seiner «Abhandlung über die Kenntnis der Schatten» (*Risāla fī ʿIlm aẓ-ẓilāl*) beschreibt Abū ʿAbdallāh Muḥammad b. Ibrāhīm ar-Raqqām[1] (gest. 715/1315) eine Sonnenuhr, die mit einem Schwimmkompaß in Verbindung steht.[2] Dieser aus Murcia stammende Astronom, Mathematiker und Mediziner gehörte zu den Gelehrten, die unter den Nasriden in Granada wirkten.

Der auf einem Stück Holz befestigte Magnetstein dient der Regulierung der Nord-Süd-Richtung für die auf dem Deckel der Holzschale eingravierte Sonnenuhr. Die Uhr wird an Seidenfäden hängend im Gleichgewicht gehalten. Ein sehr ähnliches Gerät wird Pedro Nunes (1537) zugeschrieben (nächstes Modell).

[1] Ibn al-Ḫaṭīb, *al-Iḥāṭa fī aḫbār Ġarnāṭa*, Bd. 3, Kairo 1975, S. 69-70; C. Brockelmann, *Geschichte der arabischen Litteratur*, 2. Supplementband, Leiden 1938, S. 378. Die einzig bekannte Handschrift des Traktates liegt in der Bibliothek des Escorial 918/11 (fol. 68 b-82 a). Sie wurde untersucht und herausgegeben von Joan Carandell, *Risāla fī ʿilm al-ẓilāl de Muḥammad Ibn al-Raqqām al-Andalusī*, Barcelona 1988.

[2] s. *Risāla fī ʿilm al-ẓilāl*, ed. Carandell, S. 208-209, 313.



Unsere Modell:
Durchmesser: 26 cm.
Messing, geätzt.
(Inventar-Nr. B 2.15)

Sonnenuhr

von Pedro Nunes (1537)

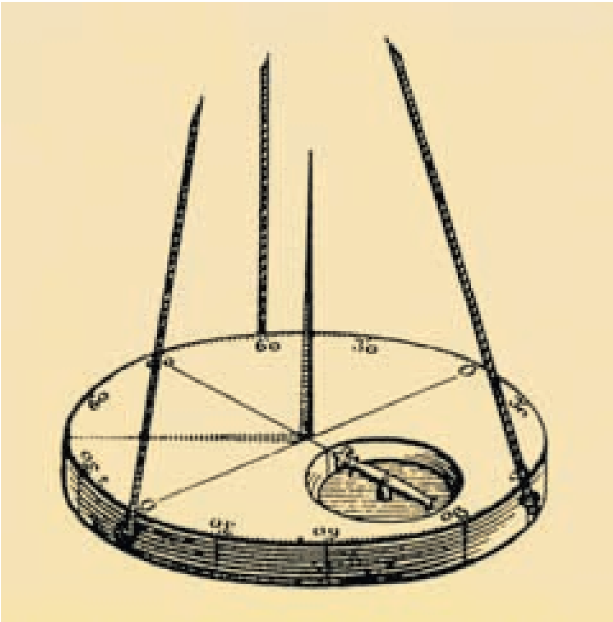
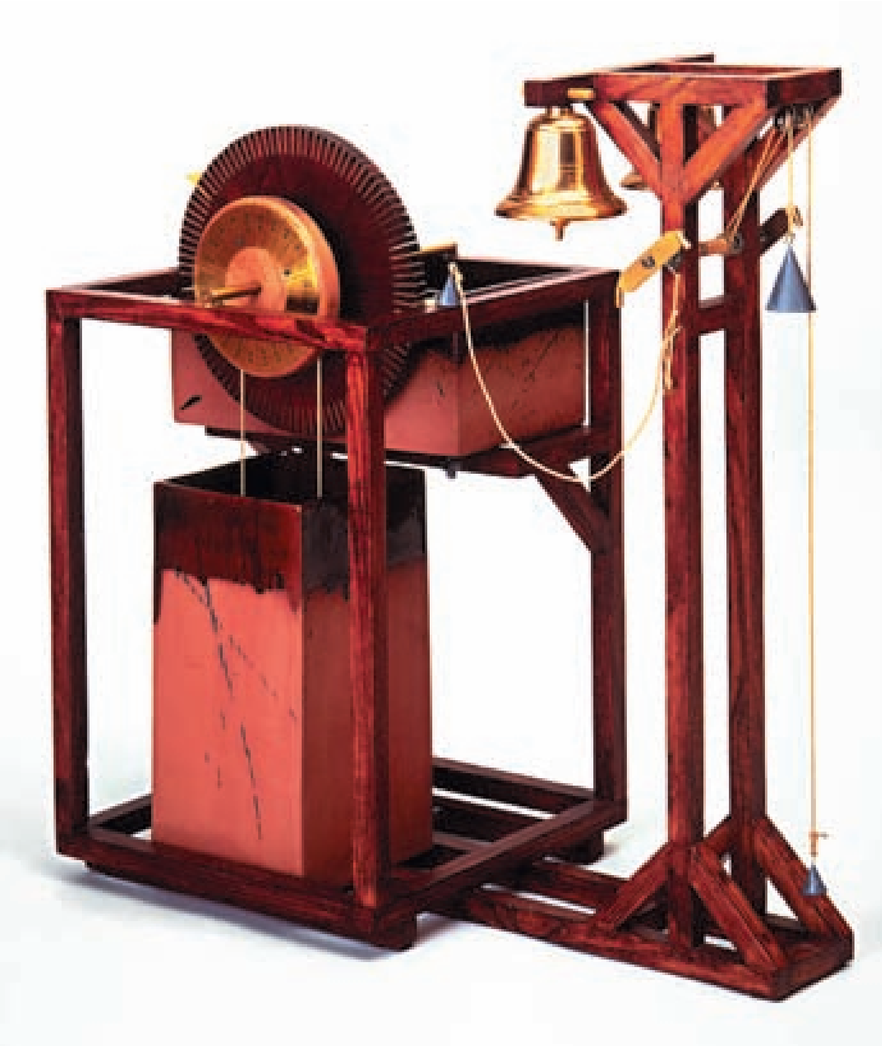


Abb. aus
Instrumentos de navegación:
Del Mediterranéo al Pacifico,
Barcelona o.J., S. 84.

Wasseruhr
mit Alarmfunktion



Unser Modell:
Maße: 60 × 60 × 30 cm.
Rad und Gestell aus Hartholz.
Wasserbehälter aus Ton.
Messingscheibe mit gravierten römischen Ziffern (1-24).
Glocken aus Bronze.
(Inventar-Nr. B 1.05)

Die Uhr ist in der lateinischen Handschrift 225 des Benediktinerklosters Santa Maria de Ripoll (am Fuß der Pyrenäen) beschrieben. Die Handschrift, die möglicherweise aus dem 13. Jahrhundert stammt, befindet sich heute im Archivo de la Corona de Aragón in Barcelona. Der Mechanismus der Uhr verrät Ähnlichkeit mit der ersten im Buch von al-Ǧazarī beschriebenen Wasseruhr.[1]

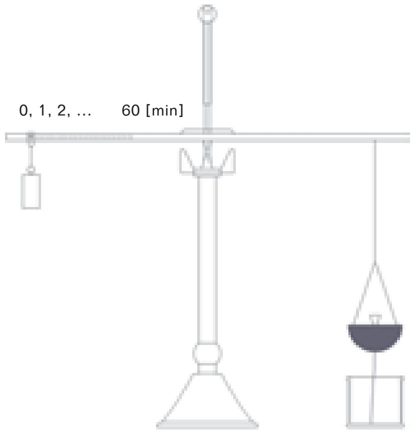
Der relativ einfache Mechanismus wird durch einen Schwimmer im unteren Behälter angetrieben, der sich bei einlaufendem Wasser aufwärts bewegt und das Rad in Bewegung setzt. Ein Blechplättchen, das am Rand des Rades auf eine beliebige Kerbe (= Uhrzeit) gesteckt wird, läßt bei der Drehung zur gewünschten Zeit ein Bleigewicht herunterfallen. Dieses sorgt für die Entriegelung eines Klöppels, der, mit einer Spule verbunden, in Drehbewegung versetzt wird und etwa 5 Sekunden lang gegen die Glocken schlägt. Da das Wasser, durch fehlenden Druckausgleich, mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fließt, ist keine gleichmäßige Zeitbestimmung möglich.

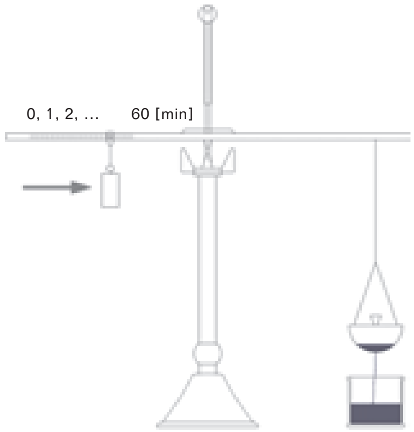
Das Modell wurde von Eduard Farré (Barcelona) gebaut, der die Konstruktion auch beschrieben hat: *A Medieval Catalan Clepsydra and Carillon*, in: Antiquarian Horology (Ticehurst, East Sussex) 18/1989/371-380.

[1] Francis Maddison, Bryan Scott, Alan Kent, *An Early Medieval Water-Clock*, in: Antiquarian Horology (Ticehurst, East Sussex) 3/1962/348-353; Donald R. Hill, *Arabic Water-Clocks*, Aleppo 1981, S. 125-126; *El Legado Científico Andalusí*, Madrid 1992, S. 198.

Minutenwaage

al-mīzān al-laṭīf al-ǧuzʾī





Unser Modell:
Messing, teilweise geätzt. Höhe: 120 cm.
Waagbalken in reibungsarmer
Aufhängung, Breite: 120 cm.
(Inventar-Nr. B 1.11)

Der Physiker ʿAbdarraḥmān al-Ḫāzinī beschreibt im achten Kapitel seines *Mīzān al-ḥikma*[1] (515/1121) eine ‹Zeitwaage› welche die 24-stündige Himmelsrotation zu messen dient. Diese als *mīzān as-sāʿāt wa-azmānihā* bezeichnete Waage bestand aus einem an einem Waagbalken aufgehängten Wasser- oder Sandreservoir, welches mit einer genau berechneten kleinen Öffnung versehen war. Indem man den Gewichtsverlust durch Verschieben eines Gewichts am Waagenarm ausbalancierte, konnte man die verflossene Zeit an einer entsprechenden Skala ablesen, gleichsam als ob man das Gewicht der Minuten wöge.

Die ‹absolute Waage› *(al-mīzān al-kullī)* war dazu eingerichtet, 24 Stunden zu laufen und war entsprechend groß; sie besaß zwei Laufgewichte und Skalen für Stunden und Minuten. Unser Modell ist die Rekonstruktion der kleineren ‹Minutenwaage› *(al-mīzān al-laṭīf al-ǧuzʾī)*, welche nur eine Stunde läuft und dazu mit einer 60er-Skala (*at-taqsīm as-sittīnī*) versehen ist.

[1] al-Ḫāzinī, *Mīzān al-ḥikma*, Ed. Haidarabad 1359/1940, S. 164-165.

Mechanische Uhren
von Taqīyaddīn

Der osmanische Gelehrte arabischer Herkunft Taqīyaddīn Muḥammad b. Maʿrūf (geb. 927/1521 in Damaskus, gest. 993/1585 in İstanbul) schrieb im Jahre 966/1559 als Qāḍī in Nābulus sein Buch über mechanische Uhren, *Kitāb al-Kawākib ad-durrīya fī waḍʿ al-bingāmāt ad-daurīya*[1]. Diesem Werk war unter anderem sein 959/1552 verfaßtes Buch über pneumatische Vorrichtungen, *aṭ-Ṭuruq as-sanīya fi l-ālāt ar-rūḥānīya*[2] vorausgegangen, in dem er der Konstruktion von Wasseruhren einen gewissen Platz einräumt.

In seinem Uhrenbuch beklagt sich Taqīyaddīn darüber, daß man sich im arabisch-islamischen Kulturraum überwiegend mit Wasser- und Sanduhren befasse und die mechanische Uhr vernachlässige. Ihm ging es um den neben Wasser und Sand anderen Antrieb, mit dem Ziel, wie er sagt, «ein Gewicht mit kleiner Kraft eine lange Zeit über eine weite Strecke zu ziehen» (*ǧaḏb aṯ-ṯaqīl bi-qūwa qalīla … zamānan ṭawīlan fī masāfa baʿīda*)[3]. Zu beachten ist dabei jedoch, daß er die Idee eines Perpetuum mobile (s.u. Bd. V, S. 61) verwirft.[4]

Taqīyaddīn, der auch in seinen übrigen Werken eine große Befähigung zur Arbeit mit Zahnradsystemen erkennen läßt, scheint zumindest bei der Verwendung der Spindelhemmung und der am Außenmantel eines stumpfen Kegels ansteigenden Schraubenlinie von europäischen mechanischen Uhren inspiriert gewesen zu sein, die zu seinen Lebzeiten ihren Weg ins Osmanische Reich gefunden hatten. Jedenfalls macht er kein Hehl daraus, daß er von derartigen europäischen Uhren wußte. Andererseits bleibt die Frage einer möglichen Beeinflussung Europas vom arabisch-islamischen Kulturbereich bei der Entstehung der mechanischen Uhr noch offen. Es ist bekannt, daß man in islamischen Ländern bei Wasser- und Quecksilberuhren Hemmungen verwendete. Die Frage bleibt, «wann die einfache Hemmung an Uhren mit Zahnrädern aufgekommen ist».[5]

In seinem Buch beschreibt Taqīyaddīn etwa zehn Uhren, die er in die zwei Gruppen Uhren mit Gewichtsantrieb und Uhren mit Spiralfeder teilt. Die ersteren nennt er *bingāmāt siryāqīya*, die letzteren *bingāmāt daurīya*.

Durch den Gedanken, die Zeit als Beobachtungselement einzuführen, kam Taqīyaddīn darauf, eine große astronomische Uhr (*bingām raṣadī*) zu bauen. Er hat sie ausführlich in seinem Traktat *Sidrat al-muntahā*[6] beschrieben, der den Instrumenten der İstanbuler Sternwarte gewidmet ist. Wir erkennen darin eine hoch interessante Planetenmodelluhr. Eine Abbildung ihres Zifferblattes für Stunden, Grade und Minuten ist im Autograph[7] des Traktates erhalten:

Abb. aus Tekeli, *16'ıncı asırda Osmanlılarda saat* S. 13.

[1] In vier Handschriften erhalten, s. *Osmanlı astronomi literatürü tariki*, Bd. 1, İstanbul 1997, S. 206; hsg., ins Englische und Türkische übersetzt von Sevim Tekeli, *16'ıncı asırda Osmanlılarda saat ve Takiyüddin'in «Mekanik saat konstrüksüyonuna dair en parlak yıldızlar» adlı eseri*, Ankara 1966.

[2] Hsg. von Aḥmad Y. al-Ḥasan in dessen *Taqīyaddīn wa-l-handasa al-mīkānīkīya al-ʿarabīya*, Aleppo 1987.

[3] Sevim Tekeli, *16'ıncı asırda Osmanlılarda saat,* a.a.O. S. 220.

[4] Ebd. S. 218.

[5] Feldhaus, *Die Technik*, a.a.O. Sp. 1216.

[6] s. Sevim Tekeli, *Takiyüddin'in Sidret ül-Müntehâ'sında aletler bahsi*, in: Belleten (Ankara) 25/1961/213-238, bes. S. 226-227, 237-238; dieselbe, *16'ıncı asırda Osmanlılarda saat,* a.a.O. S. 11-12.

[7] İstanbul, Kandilli Rasathanesi, Ms. No. 56; S. Tekeli, *16'ıncı asırda Osmanlılarda saat,* a.a.O. S. 13.

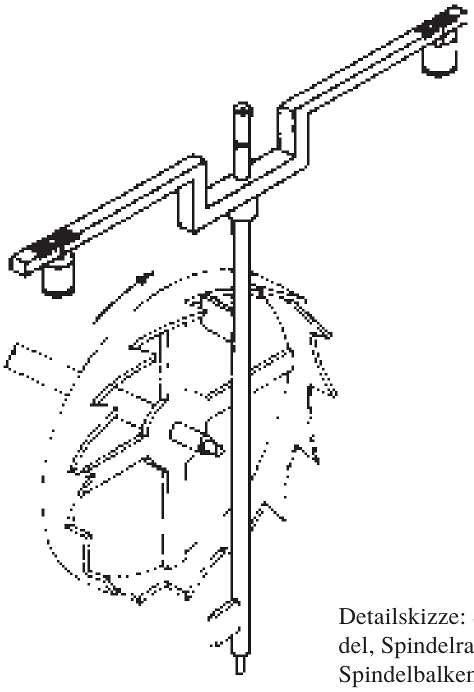
Detail einer Miniatur der Taqīyaddīn-Arbeitsgruppe.

Unser Modell:
Messing, Kupfer, Strass-Steine.
Höhe: 25 cm.
(Inventar-Nr. B 3.12)

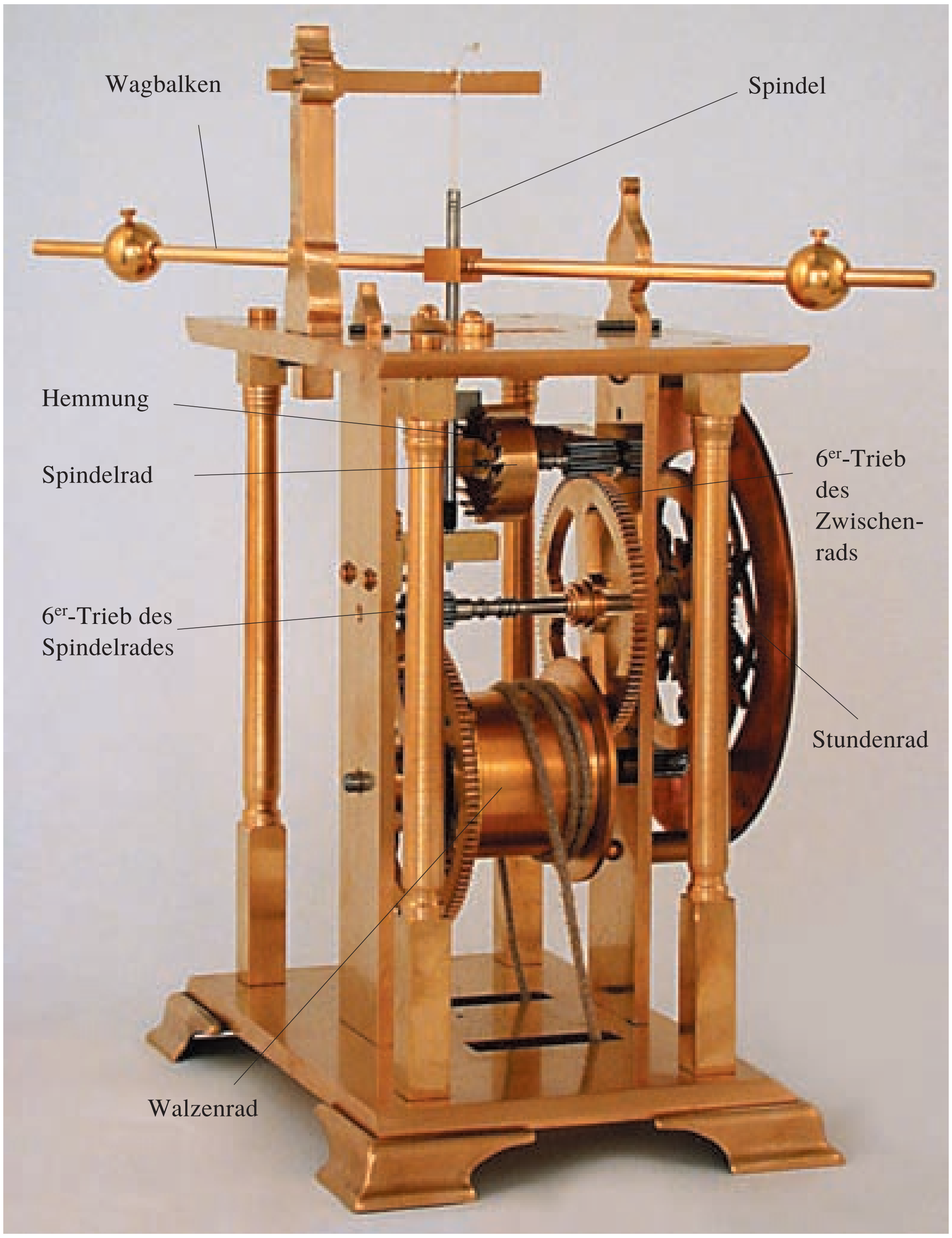
1. Uhr von Taqīyaddīn

mit Gewichtsantrieb (1559)

Die einfachste unter den Uhren mit Gewichtsantrieb (*bingāmāt siryāqīya*), die Taqīyaddīn in seinem Uhrenbuch von 966/1559 beschreibt, hat ein Werk, dessen Geschwindigkeit durch eine Spindelhemmung geregelt wird. Die äußere Gestaltung der Uhr und ihre Abmessungen bleiben im Text unerwähnt. Eine gewisse Vorstellung davon gewinnen wir durch die Zeichnung einer Tischuhr, die auf dem Bild einer Arbeitsszene des Taqīyaddīn mit seinen Kollegen in der İstanbuler Sternwarte (s.o. Bd. II, S. 34 f., 53 ff.) zu sehen ist.
«Die Uhr besitzt ein Walzenrad mit 54 Zähnen, das in den 6er-Trieb des Zwischenrades eingreift. Dieses hat 48 Zähne und steht im Eingriff mit dem 6er-Trieb des Spindelrades mit 21 Zähnen. Die Spindel trägt einen Waagbalken mit Gewichten», so G. Oestmann und F. Lühring (Bremen), die die Uhr für uns gebaut haben.



Detailskizze: Spindel, Spindelrad und Spindelbalken der Gewichtsuhr


Wagbalken
Spindel
Hemmung
Spindelrad
6er-Trieb des Zwischen-rads
6er-Trieb des Spindelrades
Stundenrad
Walzenrad

2. Uhr von Taqīyaddīn

mit Federzug und Schlagwerk (1559)

rechts: a) gebaut von
Eduard Farré (Barcelona),
nächste Seite: b) gebaut von
G. Oestmann und F. Lühring (Bremen).

Unsere Modelle:
a)
Messing, Stahl, Holz.
Federwerk mit Schlüssel.
Höhe 40cm.
(Inventar-Nr. 3.13)

Im zweiten Teil seines Buches beschreibt Taqīyaddīn eine Uhr mit Federzug, Schlagwerk und Anzeigen für die Mondphasen, die Wochentage, Stunden und Grade. Für das Museum des Institutes wurden zwei Modelle dieser Uhr angefertigt, die im Vergleich zueinander Vor- und Nachteile besitzen. Der Vorteil des Modells a) besteht darin, daß es ein vollständiges Zifferblatt mit den von Taqīyaddīn vorgesehenen vier Anzeigen hat, während bei b) die Anzeigen für Wochentage und Grade fehlen. Der Nachteil von a) liegt darin, daß es sich mit einer einfachen Zugfeder begnügt, statt die von Taqīyaddīn deutlich beschriebene und abgebildete Spiralfeder zum Antrieb zu verwenden. Taqīyaddīn fordert nicht nur diese Spiralfeder, sondern eine zweite für das Schlagwerk. Wenn man vom Unterschied des Antriebs absieht, ist das Gehwerk der Uhr identisch mit dem der Gewichtsuhr.

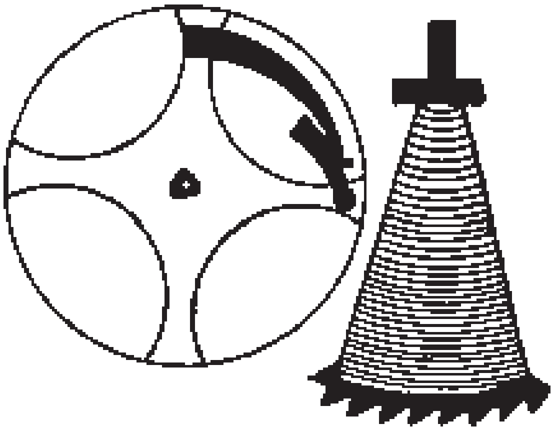
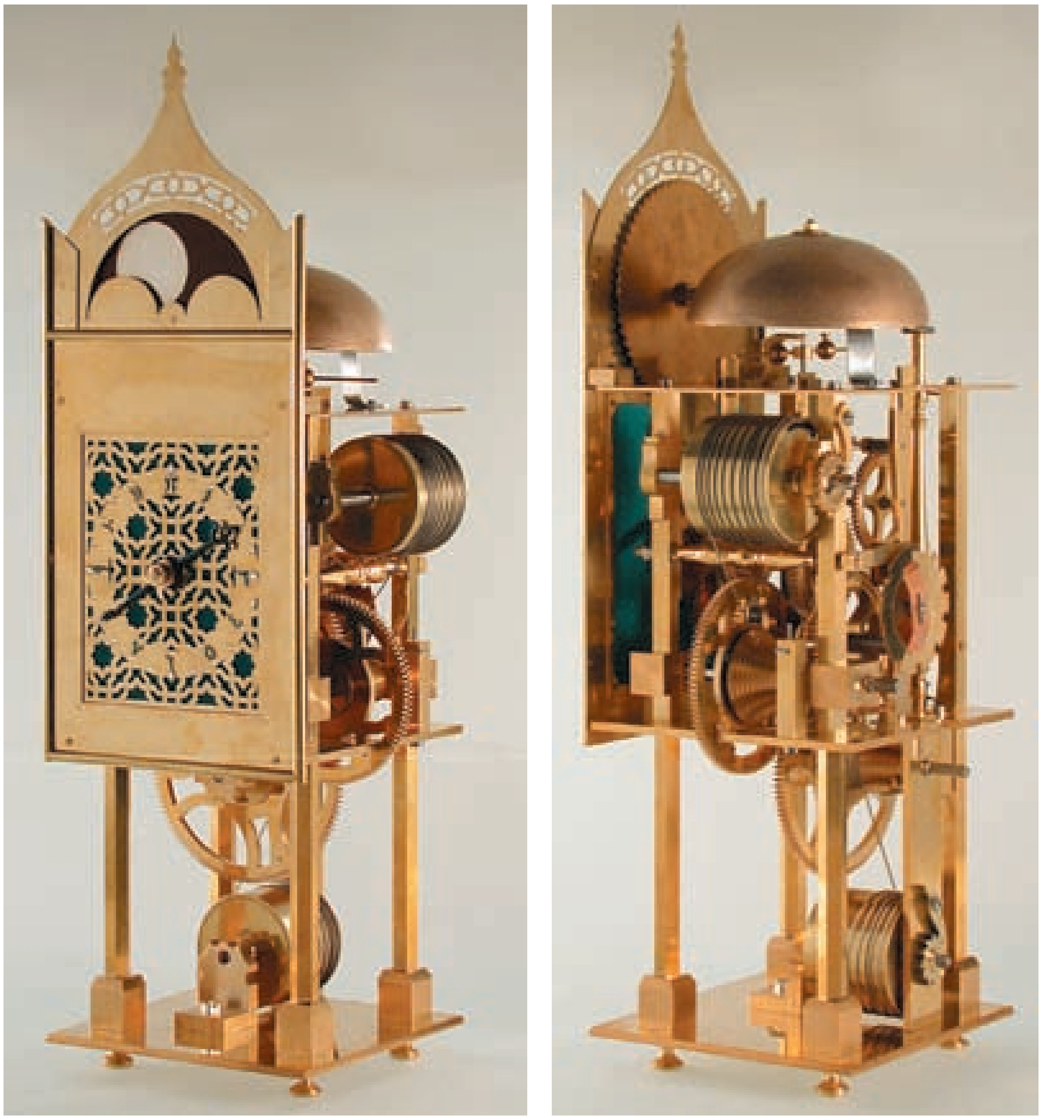
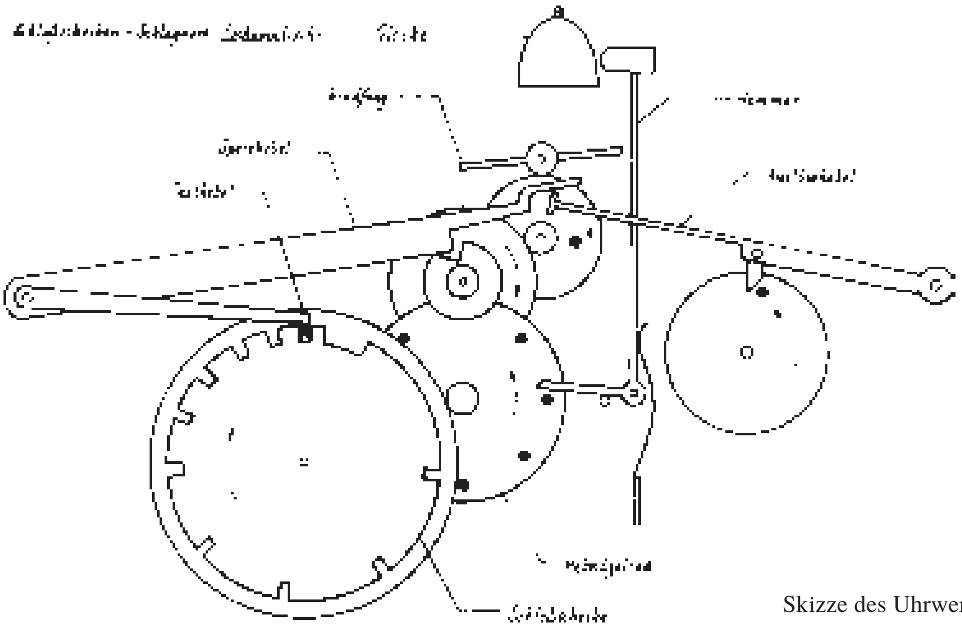


Abb. Spiralfeder etc. bei Taqīyaddīn nach Tekeli S. 28



b)
Messing, Stahl, Drahtseile. Federwerk mit Schlüssel. Höhe 50 cm. (Inventar-Nr. 3.14)



Skizze des Uhrwerks (Oestmann)

Kapitel 5

GEOMETRIE

Einleitung

Die Entstehungsgeschichte dieses Zweiges der Mathematik im arabisch-islamischen Kulturkreis (der zu einer uns unbekannten Zeit als *handasa* oder *ʿilm al-handasa* bezeichnet wurde) läßt sich schwieriger verfolgen als diejenige der Arithmetik und der Algebra. Vielleicht dürfen wir annehmen, daß auch auf diesem Gebiet Kenntnisse, die in vor- und frühislamischer Zeit in benachbarten Kulturräumen mehr oder weniger verbreitet waren, durch Aktivitäten ihrer Kulturträger auch in der islamischen Welt auf fruchtbaren Boden fielen. Dafür spricht ein Bericht des Historikers al-Azraqī (1. Hälfte 3./9. Jh.), der uns eine Skizze der Kaʿba aus Mekka aufbewahrt hat, die der Historiker ʿAbdalmalik b. Ǧuraiǧ (gest. 150/767) mit eigener Hand in der Form eines *tarbīʿ* (Quadrat) gezeichnet haben soll.[1]
Zu den ersten Kulturträgern, durch die elementare geometrische Kenntnisse in die Hauptstädte der Umaiyaden und der ʿAbbāsiden, Damaskus und Baġdād, gelangten, gehörten konvertierte und nicht konvertierte Griechen, Perser und Syrer. Man sollte auch berücksichtigen, daß das berühmte astronomisch-mathematische Buch der Inder, das *Brāhma Sphuṭa-Siddhānta*, das im Jahre 156/772 im Auftrag des Kalifen al-Manṣūr ins Arabische übersetzt wurde,[2] einen geometrisch-trigonometrischen Teil enthält. Dem Übersetzer, Ibrāhīm b. Ḥabīb (oder Muḥammad b. Ḥabīb) al-Fazārī, muß die für die Übersetzung benötigte Terminologie bereits einigermaßen bekannt gewesen sein. Er und sein Zeitgenosse Yaʿqūb b. Ṭāriq fühlten sich anschließend in der Lage, eigene mathematische und astronomische Werke auf Arabisch zu publizieren.[3]
Der älteste Titel eines arabischen geometrischen Buches stammt von dem Naturphilosophen Ǧābir b. Ḥaiyān (zweite Hälfte 2./8. Jh.) und heißt *Taʿālīm al-handasa*[4], «Lehren der Geometrie». Ǧābir empfiehlt dem Leser auch in seinen Büchern über Chemie sich, neben anderen Wissenschaften, Kenntnisse in Geometrie zu erwerben.[5] Nach seiner Vorstellung hat das Universum eine geometrische Gestalt, und in der fortgeschrittenen Organisation der Wesen dieser Welt bilden die Zahlen als Punkte die Linie, die Linien die Fläche und die Flächen die Körper. Auch die qualitativen Naturen (Elemente, humores) drückt er geometrisch aus. So soll in Tieren beispielsweise die Wärme kubisch, die Kälte, Feuchtigkeit und Trockenheit dagegen quadratisch vorhanden sein.[6]
Ǧābir zitiert das Buch von Euklid und soll auch einen Kommentar dazu verfaßt haben.[7] Euklids Buch der *Elemente* wurde unter dem Titel *Kitāb al-Uṣūl* oder *Kitāb al-Usṭuqusāt* während der Regierungszeit von Hārūn ar-Rašīd (170/786-193/809) und dann noch einmal unter al-Maʾmūn (198/813-218/833) vom gleichen Übersetzer al-Ḥaǧǧāǧ b. Yūsuf übertragen bzw. revidiert (abgesehen von einer späteren Übersetzung durch Isḥāq b. Ḥunain in der 2. Hälfte des 3./9. Jahrhunderts).[8] Der Übersetzung der *Elemente* des Euklid folgten Übertragungen von Büchern des Archimedes[9], Apollonios von Pergæ[10], Menelaos[11], Ptolemaios[12] und anderen. Aus wissenschaftshistorischer Sicht ist zu beachten, daß dies keine gelegentlich gemachten Übersetzungen waren, sondern Früchte einer bereits gewonnenen Reife im Umgang mit der Materie, die zur Befriedigung der Nachfrage einer wißbegierigen Gesellschaft nach den Kenntnissen der vorangegangenen fremden Kulturen, namentlich der Griechen, dienten und Teil einer geistigen Strömung waren, die von Herrschern und Staatsmännern geleitet und mitgetragen wurde. Kennzeichnend für dieses Phänomen war auch, daß man auf arabischer Seite unmittelbar nach den Übersetzungen mit Kommentierungen, Ergänzungen und Erweiterungen, ja sogar mit Korrekturversuchen der übersetzten Werke begann. Der Kreis der Teilnehmer an diesen Arbeiten überschritt schnell die

[1] Azraqī, *Aḫbār Makka*, Leipzig 1858, S. 111-112; s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 5, S. 24.
[2] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 199-200.
[3] Ebd. Bd. 5, S. 216-218; Bd. 6, S. 122-127.
[4] Ebd. Bd. 5, S. 225.
[5] Ebd. Bd. 5, S. 221.
[6] s. Paul Kraus, *Jābir ibn Ḥayyān. Contribution à l'histoire des idées scientifiques dans l'Islam*, Bd. 2, Kairo 1942 (Nachdr. Natural Sciences in Islam, Bd. 68, Frankfurt 2002), S. 178-179; F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 223.
[7] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 225.
[8] Ebd. Bd. 5, S. 103-104.
[9] Ebd. Bd. 5, S. 121-136.
[10] Ebd. Bd. 5, S. 136-143.
[11] Ebd. Bd. 5, S. 158-164.
[12] Ebd. Bd. 5, S. 166-174.

Grenzen Baġdāds und dehnte sich allmählich nahezu vom äußersten Osten bis zum äußersten Westen der islamischen Welt aus. Die Aktivitäten dauerten Jahrhunderte lang an, in einigen Regionen sogar bis zum 9./15. Jahrhundert, und kamen jedenfalls nicht so früh zum Abschluß, wie man es öfter annimmt und behauptet.

Im folgenden werde ich versuchen, auf der Grundlage rezenter Forschungsergebnisse einen Eindruck von einigen bedeutenden Leistungen arabisch-islamischer Gelehrter auf dem Gebiet der Geometrie zu vermitteln.

Parallelenlehre

Beginnen wir mit den durch die Bearbeitung der euklidischen *Elemente* erzielten Ergebnissen.

al-ʿAbbās b. Saʿīd al-Ǧauharī (tätig unter al-Maʾmūn im ersten Drittel des 3./9. Jahrhunderts), der zweite Kommentator der Elemente, fühlte sich aufgerufen, nachdem er das ganze Buch kommentiert hatte, eine Bearbeitung oder Verbesserung (*iṣlāḥ*) desselben vorzunehmen und auch Ergänzungen (*ziyādāt*) beizusteuern.[13] Der erhaltene Teil seines Verbesserungsversuches bezieht sich auf das fünfte Postulat des Euklid, das lautet: «(Gefordert soll sein,) daß, wenn eine gerade Linie beim Schnitt mit zwei geraden Linien bewirkt, daß innen auf derselben Seite entstehende Winkel zusammen kleiner als zwei rechte werden, dann die zwei geraden Linien bei Verlängerung ins Unendliche sich treffen auf der Seite, auf der die Winkel liegen, die zusammen kleiner als zwei rechte sind.»[14]

Für dieses Postulat (*šakl*) schlägt al-Ǧauharī folgende Form vor: «Wenn beim Schneiden zweier Geraden durch eine beliebige dritte die Wechselwinkel gleich sind, so sind solche Geraden zueinander parallel und äquidistant.»[15] Die von al-Ǧauharī für seinen Beweisversuch angeführten Sätze sind, wenn auch nicht einwandfrei, so doch bemerkenswert. Einen ähnlichen Beweis schlug im Jahre 1800 der französische Mathematiker A.M. Legendre vor.[16]

Mit seinem Versuch, das 5. Postulat Euklids zu vervollkomnen, befand sich al-Ǧauharī im Kreise derjenigen arabisch-islamischen Mathematiker, die sich im Laufe der Jahrhunderte zur Schwelle der nicht-euklidischen Geometrie hinbewegten. Weitere Schritte in diese Richtung taten al-Faḍl b. Ḥātim an-Nayrīzī[17] (3./9. Jh.) und Ṯābit b. Qurra[18] (gest. 288/901). In der ersten Hälfte des 5./11. Jahrhunderts hat sich Ibn al-Haiṯam[19] in einem umfangreichen Buch um die Erklärung sämtlicher Postulate von Euklid bemüht. Dieser *Šarḥ muṣādarāt Uqlīdis*[20] «eröffnet uns einen Einblick in die Grundsatzdiskussionen, die das Werk des Euklid und die Bemühungen um sein Verständnis, seine Kritik und seine Fundierung bei den Arabern ausgelöst hat.»[21]

Ibn al-Haiṯam ergänzte dieses Werk durch ein anderes, das er *Ḥall šukūk Kitāb Uqlīdis fi l-Uṣūl*[22] («Auflösung von Zweifeln im Buch der *Elemente* von Euklid») nannte.

Ibn al-Haiṯam versucht, die im 5. Postulat erfaßte Parallelenlehre durch ein Bewegungsprinzip zu beweisen, das auf die Annahme hinausläuft, daß Linien konstanten Abstandes zu einer Geraden wieder Geraden sind. Einen ähnlichen Weg haben Mathematiker in Europa im 18. Jahrhundert eingeschlagen. Zu ihnen gehört Johann Heinrich Lambert (gest. 1777).[23]

Rund ein halbes Jahrhundert nach Ibn al-Haiṯam beschäftigte sich ʿUmar al-Ḫaiyām, der große Mathematiker, Astronom, Philosoph und Dichter, mit demselben Thema. Seine philosophische Einstellung zu mathematischen Begriffen zeigt sich besonders in der Lehre von den Proportionen, den Parallelen und beim Zahlbegriff. Er verfaßte einen

[13] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 243-244.

[14] *Die Elemente von Euklid*. Aus dem Griechischen übersetzt und herausgegeben von Clemens Thaer, Nachdr. Frankfurt 1997, S. 3.

[15] A.P. Juschkewitsch, *Geschichte der Mathematik im Mittelalter*, Leipzig und Basel 1964, S. 278; Ḫ. Ǧāwīš, *Naẓarīyat al-mutawāziyāt fi l-handasa al-islāmīya*, Tunis 1988, S. 43; K. Jaouiche (= Ḫ. Ǧāwīš), *La théorie des parallèles en pays d'Islam. Contribution à la préhistoire des géométries non-euclidiennes*, Paris 1986, S. 137.

[16] Juschkewitsch, a.a.O. S. 278; K. Jaouiche, *La théorie des parallèles*, a.a.O. S. 43.

[17] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 283-285.

[18] Juschkewitsch, a.a.O. S. 279-280: K. Jaouiche, *La théorie des parallèles*, a.a.O. S. 45-56.

[19] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 358-374.

[20] Faksimile-Edition (mit einem Vorwort von Matthias Schramm) Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften, Frankfurt 2000.

[21] M. Schramm, Vorwort zu *Šarḥ muṣādarāt Uqlīdis*, S. 7.

[22] Faksimile-Ed. Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften, Frankfurt 1985.

[23] Juschkewitsch, a.a.O. S. 280-281.

dreiteiligen Kommentar zu den Postulaten und den schwierigen Stellen in Euklids *Elementen*; die beiden letzten Teile handeln von der Proportionenlehre, der erste von der Parallenenlehre. In seiner Parallelenlehre kritisiert al-Ḫaiyām an seinem Vorgänger Ibn al-Haiṯam, daß dieser die Bewegung in der Geometrie als Beweismittel verwende.
al-Ḫaiyām führt «ein Viereck mit zwei rechten Winkeln auf der Grundlinie sowie mit gleichen Schenkelseiten ein und untersucht drei Hypothesen über seine übrigen zwei Winkel, die untereinander gleich sind. Dieses Viereck ist auch im 18. Jahrhundert von dem italienischen Mathematiker G. Saccheri untersucht worden und wird deshalb oft nach ihm benannt.»[24]
Mit dem Parallelenpostulat hat sich auch der Universalgelehrte Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī (gest. 672/1274) eingehend beschäftigt. In seinem dem Thema gewidmeten Traktat *ar-Risāla aš-šāfiya ʿan aš-šakk fi l-ḫuṭūṭ al-mutawāziya*[25] unterzieht er die betreffenden Ansichten der Vorgänger einer kritischen Untersuchung, wobei er ähnlich wie al-Ǧauharī und al-Ḫaiyām verfährt. In seiner Bearbeitung (*Taḥrīr*) des Buches von Euklid (die mir zur Zeit nicht zur Verfügung steht) soll er[26] das euklidische Postulat durch ein eigenes ersetzt haben: «Falls zwei in einer Ebene liegende Geraden in einer Richtung auseinanderlaufen, so können sie in dieser Richtung nicht zusammenlaufen, sofern sie sich nicht schneiden.»
Doch waren es nicht diese beiden Bücher, sondern ein anderes, durch das der Name Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī in der Geschichte der Parallelenlehre große Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat. Es ist der unter dem Namen aṭ-Ṭūsī's im Jahre 1594 von Giovan Battista Raimondi in der Typographia Medicea herausgegebene *Taḥrīr al-Uṣūl li-Uqlīdis*. Heute steht fest, daß das Buch mit dem *Taḥrīr* des Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī nicht identisch ist. Es ist mir nicht möglich gewesen, die Frage nach der Autorschaft zu klären; ich hoffe daher, daß es der zukünftigen Forschung gelingen wird. Es ist übrigens nicht auszuschließen, daß wir es mit einem anderen Werk aṭ-Ṭūsī's zu tun haben. Es scheint jedenfalls im Niveau seinen übrigen Werken nicht nachzustehen. Das Buch fand in Europa große Verbreitung, da es kurz nach seinem Erscheinen von dem Oxforder Orientalisten Edward Pococke (1604-1691) ins Lateinische übersetzt wurde. Die früheste Wirkung zeigte sich bei dem englischen Mathematiker John Wallis (1616-1703). Die Beweisführung des arabischen Buches «kam den Ideen von Wallis sehr entgegen. Er wollte an die Stelle des Euklidschen Postulats die Annahme ähnlicher Figuren setzen, und dazu boten ihm die Gedankengänge Naṣīraddīns eine treffliche Handhabe. Wallis hat darüber, wie er selbst uns mitteilt, am 7.2.1651 (alten Stils) im Rahmen seiner öffentlichen Vorlesungen in Oxford vorgetragen. In seinen Werken hat er später diesen Vortrag zusammen mit der lateinischen Übersetzung der Bemerkungen Naṣīraddīns zum 28. Satz des ersten Buchs der *Elemente* abdrucken lassen.»[27]
«Durch die von Wallis gedruckte lateinische Übersetzung wurden Naṣīraddīns Gedanken zur Parallelentheorie allen Mathematikern zugänglich. Unter ihnen war der geniale Jesuit Girolamo Saccheri (1667-1733), der den nächsten entscheidenden Schritt in der Theorie der Parallelen tat. In seinem *Euclides ab omni naevo vindicatus*, der 1733 in Mailand erschien, hat er sich eingehend mit Naṣīraddīn auseinandergesetzt ... Im Grunde hat Saccheri genau an dem Punkt eingesetzt, zu dem Naṣīraddīn vorgedrungen war. Er hat damit die Entwicklung eingeleitet, die dann zur Einsicht in die Unabhängigkeit des Parallelenpostulats von den übrigen und schließlich zur nichteuklidischen Geometrie geführt hat.»[28]

[24] A.P. Juschkewitsch und B.A. Rosenfeld, *Die Mathematik der Länder des Ostens im Mittelalter*, Berlin 1963, S. 150; D.E. Smith, *Euclid, Omar Khayyâm and Saccheri*, in: Scripta Mathematica (New York) 2/1935/5-10; K. Jaouiche, *On the Fecundity of Mathematics from Omar Khayyam to G. Saccheri*, in: Diogenes (Oxford) 57/1967/83-100; F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 51-52.
[25] Zu den Handschriften s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 113; Ed. Haidarabad 1940 (Nachdr. in Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 49, Frankfurt 1998, S. 363-434); Ḫ. Ǧāwīš, *Naẓarīyat al-mutawāziyāt*, a.a.O. S. 159-203.
[26] A.P. Juschkewitsch, a.a.O. S. 285.
[27] s. J. Wallis, *Opera mathematica*, Bd. 2, Oxford 1693, S. 669-673.
[28] Diese Ausführungen über das in Rom herausgegebene Buch stammen von meinem Freund Matthias Schramm, der auf meine Bitte hin im Jahre 1987 das Buch studiert und zu einem geplanten Nachdruck im Rahmen der Publikationen unseres Institutes ein Vorwort geschrieben hat. Ich freue mich, daß ich diese Gelegenheit nutzen kann, wenigstens einen kleinen Teil seines vorzüglichen Vorwortes hier dem Leser zugänglich zu machen. Wir hatten damals den geplanten Nachdruck zurückstellen müssen und konnten das Buch erst zehn Jahre später (ohne Vorwort) herausgeben.

Im Anschluß an diese Ausführungen über die Parallelentheorie bei den Mathematikern des arabisch-islamischen Kulturbereiches seien nun einige ihrer Leistungen bei geometrischen Konstruktionsmodellen und in algebraischer Geometrie erwähnt.

Algebraische Geometrie

Innerhalb von rund fünfzig Jahren nach seiner ersten Übersetzung scheint das Buch der *Elemente* von Euklid im arabisch-islamischen Raum völlig assimiliert worden zu sein. Die terminologischen Schwierigkeiten waren fast ganz überwunden. Es kommt hinzu, daß schon vor der Mitte des 3./9. Jahrhunderts wichtige Werke von Archimedes, Apollonios und Menelaos in arabischer Übersetzung vorlagen und man mit ihrem Inhalt vertraut war. Bisherige Untersuchungen der erhaltenen arabischen geometrischen Texte aus jenem Zeitraum bezeugen nicht nur einen souveränen Umgang ihrer Verfasser mit den Werken der griechischen Meister, sondern auch ein gewisses Bewußtsein eigener Kreativität. Eine deutliche Vorstellung von dieser Haltung geben uns die drei Söhne des Mūsā b. Šākir (Banū Mūsā), die in der ersten Hälfte des 3./9. Jahrhunderts in Bagdad wirkten. Ihre Arbeiten zeugen von der Fähigkeit, sich unbefangen und schöpferisch mit dem Werk der Vorgänger auseinanderzusetzen, wobei es meines Erachtens nicht ausschlaggebend ist, wieviel dabei tatsächlich zustande kommt. In ihrem Buch über Geometrie behaupten sie, eine neue Lösung für die Dreiteilung des Winkels gefunden zu haben. Dabei stützen sie sich auf eine Kurve, die in der Geschichte der Mathematik später in entwickelterer Form als «Pascalsche Schnecke» bekannt wurde. Für uns ist bei der Beurteilung ihrer Leistung in einem solchen Fall ihre Haltung entscheidender als ihr objektiver Erfolg. Die Söhne des Mūsā unternahmen auch eine Kreisberechnung nach der von Archimedes entwikkelten Methode, wählten aber eine andere Art der Darstellung. Sie bemühten sich, «durch abweichende Beweisführung und Wahl anderer Buchstaben von ihren griechischen Mustern sich soweit als möglich zu entfernen»[29].

Hervorstechende Merkmale für den Beginn der Periode eigener Kreativität, nicht nur auf dem Gebiet der Geometrie, treten in den uns bekannten Überresten der Werke von Muḥammad b. ʿĪsā al-Māhānī[30] (gest. um 275/888), eines jüngeren Zeitgenossen der Söhne des Mūsā, zutage. Zu unserem Thema gehört der Versuch al-Māhānī's, die von Archimedes aufgeworfene Frage zu beantworten, wie man eine gegebene Kugel durch eine Ebene in zwei Segmente zu gegebenem Verhältnis teilen kann. Er versuchte, das Problem mit einer Gleichung dritten Grades zu lösen, doch gelang es ihm, wie ʿUmar al-Ḫaiyām[31] später festgestellt hat, nicht.[32] In diesem Zusammenhang berichtet al-Ḫaiyām weiter, daß es al-Māhānī's Nachfolger, Abū Ǧaʿfar al-Ḫāzin (Muḥammad b. al-Ḥusain), der in der ersten Hälfte des 4./10. Jahrhunderts wirkte, gelungen ist, eine Gleichung dritten Grades zu lösen; er erklärte die Kegelschnitte als ausreichend für die Ermittlung der Wurzeln von kubischen Gleichungen.[33]
Etwa ein halbes Jahrhundert nach Abū Ǧaʿfar al-Ḫāzin befaßte sich auch Ibn al-Haiṯam mit der von Archimedes gestellten Aufgabe. Auch er führte sie auf eine Gleichung dritten Grades zurück und löste sie mit Hilfe von Kegelschnitten.[34] Einen weiteren Schritt auf dem Gebiet der algebraischen Geometrie tat Ibn al-Haiṯam in seinem Buch der Optik (*Kitāb al-Manāẓir*) mit der Lösung der von ihm selbst gestellten Aufgabe, den Spiegelungspunkt eines kugelförmig gekrümmten Spiegels zu finden, von welchem aus das Bild eines an einem gegebenen Ort befindlichen Gegenstandes in ein gleichfalls an einem gegebenen Ort befindliches Auge geworfen wird. Die Frage wird von Ibn al-Haiṯam geometrisch behandelt und mit einer Gleichung vierten Grades gelöst.[35] In einem anderen Kapitel des vorliegenden Bandes (S. 187) wird erwähnt,

[29] H. Suter, *Über die Geometrie der Söhne des Mûsâ ben Schâkir*, in: Bibliotheca Mathematica (Stockholm) 3. Folge, 3/1902/259-272, bes. S. 272 (Nachdr. in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 76, S. 137-150, bes. S. 150); F. Sezgin, a.a.O. S. 248-249.

[30] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 260-262; Bd. 6, S. 155-156.
[31] *Maqāla fi l-ǧabr wa-l-muqābala*, ed. Fr. Wœpcke in: *L'algèbre d'Omar Alkhayyâmî*, Paris 1851, arab. S. 2, franz. Übers. S. 96 (Nachdr. in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 45, S. 1-206, bes. S. 120, 203).
[32] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 35, 260, nach J.P. Hogendijk, *The Works of al-Māhānī*, Manuskript eines in Teheran gehaltenen Vortrags (Utrecht, 13 S.), S. 9.
[33] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 298.
[34] Ebd. Bd. 5, S. 359.
[35] Ebd. Bd. 5, S. 48, 359.

daß Ibn al-Haiṯam's Aufgabe vom 13. bis zum 19. Jahrhundert europäische Gelehrte als *Problema Alhazeni* beschäftigt hat. Es ist sehr zu bedauern, daß der Mathematikhistoriker Jean Étienne Montucla daran gezweifelt hat, daß Ibn al-Haiṯam diese Aufgabe selbst hat lösen können, wenn er sagt: «Man müßte ihn sogar unter die Geometer eines höheren Ranges einordnen, wenn es gesichert wäre, daß er auch der Urheber der Lösung des Problems war, die er gegeben hat.»[36]

Die erhaltenen Traktate von Abu l-Ǧūd Muḥammad b. al-Laiṯ[37], einem Zeitgenossen Ibn al-Haiṯams, zeigen den raschen Fortschritt, der auf dem Gebiet der Mathematik erzielt wurde, auf dem man bei der Lösung von Aufgaben, bei denen die Verwendung von Kreis und Gerader nicht ausreicht, von Kegelschnitten Gebrauch machte. Zu den Aufgaben, die Abu l-Ǧūd auf diese Weise gelöst hat, gehören auch solche, die al-Bīrūnī ihm gestellt hat.[38] Seine Resultate vermitteln den Eindruck, daß ihm in gewisser Weise die Rolle eines Vorläufers von ʿUmar al-Ḫaiyām bei der Entwicklung einer allgemeinen Lehre der kubischen Gleichungen zukommt.

Es sei hier angefügt, daß uns auch eine Lösung für die Aufgabe überliefert ist, ein Trapez mit drei Seiten der Länge 10 und dem Flächeninhalt 90 zu konstruieren. Der anonyme Mathematiker, dem wir das Resultat verdanken, lebte wahrscheinlich in der zweiten Hälfte des 5./11. Jahrhunderts. Er löste die sich ergebende Gleichung $x^4 + 2000x = 20x^3 + 1900$ durch den Schnitt einer Hyperbel mit einem Kreis. Bemerkenswert ist die Angabe des Verfassers, daß verschiedene Algebraiker und Geometer sich schon seit einiger Zeit diese Aufgabe gestellt hätten, ohne sie befriedigend lösen zu können.[39]

Eine wesentliche Erweiterung erfuhr die algebraische Geometrie durch Konstruktionen und Konstruktionsversuche des regelmäßigen Siebenecks, die in der zweiten Hälfte des 4./10. Jahrhunderts zu erscheinen begannen. Nicht in allen, aber in einigen dieser Fälle wird die Aufgabe durch Kegelschnitte gelöst.[40]

Die Entwicklung war soweit vorangeschritten, daß in der zweiten Hälfte des 5./11. Jahrhunderts einer der größten Mathematiker der Zeit, ʿUmar al-Ḫaiyām, dazu geführt wurde, eine allgemeine Lehre der kubischen Gleichungen zu entwickeln. Sein zu diesem Zweck verfaßter Traktat, *Risāla fi l-Barāhīn ʿalā masāʾil al-ǧabr wa-l-muqābala*, wurde in der Mitte des 19. Jahrhunderts ediert, ins Französische übersetzt und seine revolutionäre Rolle in der Geschichte der Mathematik in einer ausgezeichneten Studie von Franz Wœpcke einleuchtend dargelegt. In seinem Text, in dem die Algebra streng von der Arithmetik geschieden wird, sagt al-Ḫaiyām: «Die algebraischen Lösungen werden mit Hilfe einer Gleichung ausgeführt, d.h. auf wohlbekannte Weise durch Gleichsetzen verschiedener Potenzen.» Für Gleichungen, die Zahlen, Dinge, oder Seiten und Quadrate enthalten, also solche, die nicht über die zweite Potenz hinausgehen, folgt die zahlenmäßige Lösung aus der geometrischen, bei der man sich auf die *Elemente* und die *Data* des Euklid zu stützen hat. Der Gedanke der Unzulänglichkeit von Kreis und Geraden bei Gleichungen dritten Grades wurde zuerst von ʿUmar Ḫaiyām ausgesprochen, in Europa erst wieder im Jahre 1637 von René Descartes formuliert und schließlich von P.L. Wantzel (1837) bewiesen.[41]

[36] *Histoire des mathématiques*, Bd. 1, Paris 1758, S. 359-360; M. Schramm, *Ibn al-Haythams Stellung in der Geschichte der Wissenschaften*, in: Fikrun wa Fann (Hamburg) 6/1965/arab. S. 85-65, bes. S. 67.

[37] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 353-355.

[38] Ebd. S. 353, 354; s. noch J.P. Hogendijk, *Greek and Arabic Constructions of the Regular Heptagon*, in: Archive for History of Exact Sciences (Berlin etc.) 30/1984/197-330, bes. S. 223-224, 244-256, 267.

[39] F. Wœpcke, *L'algèbre d'Oṣṣmar Alkhayyâmî*, a.a.O. S. 115-116 (Nachdr., a.a.O. S. 138-139).

[40] Y. Samplonius, *Die Konstruktion des regelmäßigen Siebenecks nach Abu Sahl al-Qûhî Waiğan ibn Rustam*, in: Janus (Leiden) 50/1963/227-249; R. Rashed, *La construction de l'heptagone régulier par Ibn-al-Haytham*, in: Journal for the History of Arabic Science (Aleppo) 3/1979/309-387; J.P. Hogendijk, *Greek and Arabic Constructions of the Regular Heptagon*, a.a.O.

[41] Juschkewitsch, a.a.O. S. 261; A.P. Juschkewitsch und B.A. Rosenfeld, *Die Mathematik der Länder des Ostens im Mittelalter*, a.a.O. S. 120; Johannes Tropfke, *Geschichte der Elementar-Mathematik*, Bd. 3, 3. Aufl., Berlin und Leipzig 1937, S. 125; F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 50.

ʿUmar al-Ḫaiyām teilt die Gleichungen in 25 Typen. Eine davon ist linear, d.h. eine Gleichung ersten Grades, fünf sind quadratisch, also zweiten Grades, fünf weitere sind kubisch (dritten Grades) aber auf quadratische reduzierbar, und die restlichen 14 sind von der Art kubischer Gleichung, die mit Hilfe von Kegelschnitten konstruiert und gelöst werden können.
Die geometrische Konstruktionsmethode wendet er in zwei Fällen auf numerische Gleichungen an. Wichtiger noch als die erzielten Einzelergebnisse ist deren methodische Seite: al-Ḫaiyām löst die Koordinatensysteme der alten Kegelschnittlehre vom einzelnen Kegelschnitt, indem er ein und dasselbe System für mehrere Kegelschnitte benutzt; und er ist es gewesen, der in diesem Zusammenhang klar die Vorzüge rechtwinkliger Systeme erkannt hat, die zu Unrecht nach Descartes benannt werden.[42]
Das Buch von ʿUmar al-Ḫaiyām ist, wie viele Werke aus dem östlichen Teil des arabisch-islamischen Kulturkreises, dem Abendland unbekannt geblieben. Diesen Sachverhalt brachte J. Tropfke[43] im Jahre 1937 folgendermaßen zum Ausdruck: «Leider blieb die genauere Kenntnis seines ausgezeichneten Werkes dem Abendland bis auf die neueste Zeit vorenthalten. Fermat (um 1637), Descartes (1637), van Schooten (1659), E. Halley (1687) u.a. mußten sich ähnliche Konstruktionen erst von neuem wieder erfinden.»
Die nächsten uns bekannten Nachfolger von al-Ḫaiyām in der Behandlung von Gleichungen dritten Grades waren Šarafaddīn al-Muẓaffar b. Muḥammad aṭ-Ṭūsī[44] (6./12. Jh.) und Ġiyāṯaddīn Ǧamšīd b. Masʿūd al-Kāšī (gest. 840/1436). Letzterer weist im fünften Kapitel seines *Miftāḥ al-ḥisāb* darauf hin, er habe als erster die Lösung von 70 Gleichungen vierten Grades gefunden.[45]

[42] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 50-51; zum Näheren s. M. Schramm, *Steps towards the Idea of Function. A Comparison between Eastern and Western Science of the Middle Ages*, in: History of Science, Bd. 4, Cambridge 1965, S. 70-103, bes. S. 97.
[43] *Geschichte der Elementar-Mathematik*, a.a.O. Bd. 3, S. 133.
[44] Ein erhaltener anonymer Auszug aus seinem Buch über die Gleichungen wurde herausgegeben und ins Französische übersetzt von R. Rashed, *Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī, Oeuvres mathématiques. Algèbre et géométrie au XIIe siècle*, 2 Bde., Paris 1986.
[45] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 68.

Trigonometrie

Es ist wahrscheinlich, daß trigonometrische Kenntnisse der Inder den arabisch-islamischen Kulturraum bereits durch frühe muslimische Vertreter aus ehemals persisch-sasanidischen Pflegestätten der Wissenschaften erreicht hat, noch bevor das Hauptwerk der Inder über Astronomie und Mathematik, der *Brāhmasphuṭa-Siddhānta*, im Jahre 156/772 im Auftrag des Kalifen al-Manṣūr ins Arabische übersetzt wurde. Im Vergleich mit den Griechen hat man in Indien auf dem Gebiet der Trigonometrie einen wichtigen Schritt nach vorn getan, indem man die Sehne durch den Sinus ersetzte, d.h. man operierte mit der Halbsehne des doppelten Winkels anstatt mit der ganzen und erleichterte dadurch, neben den griechischen Ansätzen, den arabisch-islamischen Gelehrten die weitere Entwicklung.
Daß der heutige Terminus Sinus eine Übersetzung des arabischen Wortes *ǧaib* (Tasche) ist, ist bekannt. Die Araber ihrerseits hatten den indischen trigonometrischen Terminus *ǧiva* (Bogensehne) phonetisch durch *ǧīb* wiedergegeben, was dann von den Übersetzern ins Lateinische *ǧaib* gelesen und mißverstanden wurde. In den frühesten Büchern wurde auch das Wort *ardaǧiva* für die Halbsehne benutzt, später aber kürzte man den Begriff für Sinus mit *ǧīb* ab. Daher trug das älteste uns bekannte arabische Buch über Trigonometrie von Yaʿqūb b. Ṭāriq (um 161/777) den Titel *Kitāb Taqṭīʿ kardaǧāt al-ǧīb*, d.h. «Ermittlung des Sinus eines Kreisbogens».[46] Vollständigkeitshalber sei gesagt, daß durch die Übersetzung des *Siddhānta* nicht nur die Kenntnis des Begriffes und der Funktion des Sinus, sondern auch des Cosinus und eine kleine Sinustabelle im arabisch-islamischen Kulturbereich Verbreitung fand.
Die trigonometrischen Kenntnisse der Griechen (welche nicht ohne Beziehung zu ihren chaldäischen Vorgängern waren[47]), die hauptsächlich auf Hipparch (2. Jh. v.Chr.) und auf Menelaos (2. Hälfte 1. Jh. v.Chr.) zurückgehen, erreichten die arabisch-islamischen Mathematiker und Astronomen mit der ersten Übersetzung des *Almagest*[48] von

[46] s. ebd. Bd. 5, S. 196.
[47] s. J. Tropfke, *Geschichte der Elementar-Mathematik*, 2. Aufl., Bd. 5, Berlin und Leipzig 1923, S. 12.
[48] Zum entsprechenden Kapitel s. Ptolemäus, *Handbuch der Astronomie*, deutsche Übers. K. Manitius, Neuausgabe Leipzig 1963, Bd. 1, S. 24 ff.

Ptolemaios im letzten Viertel des 2./8. Jahrhunderts. Der griechische Astronom benutzte «die Größe der Sehne, die zu dem doppelten, als Zentriwinkel in den Kreis eingetragenen Winkel gehört. Mit der Größe des Zentriwinkels ändert sich die Größe der Sehne; und für diese Veränderlichkeit hatte Hipparch eine Tabelle aufgestellt».[49]

Die trigonometrischen Grundvorstellungen der Griechen sind nach der Übersetzung der Werke von Menelaos und Ptolemaios ins Arabische durch den Satz des ersteren über das vollständige Vierseit und den Transversalensatz des letzteren für die Entwicklung der nächsten 500 Jahre äußerst fruchtbar geworden.

Der früheste uns bekannte Anstoß zu einer schöpferischen Beschäftigung mit dem Transversalensatz von Menelaos – Ptolemaios bei den arabisch-islamischen Mathematikern ging zweifellos von al-Māhānī (um 250/865), dem ersten Bearbeiter der Sphärik, aus. Er wandte bei der Bestimmung des Azimuts ein dem sphärischen Cosinussatz äquivalentes Theorem auf das Dreieck an.[50] P. Luckey[51], der diesen Satz im Kommentar al-Māhānī's zur Sphärik des Menelaos entdeckt hat, konnte damit endgültig die Behauptung von J.-B. Delambre und A. von Braunmühl widerlegen, daß Regiomontanus hierin keinen Vorgänger unter den Arabern gehabt habe.[52]

Es gehört zu den Entwicklungsstufen in der Geschichte der Trigonometrie, daß in der zweiten Hälfte des 3./9. Jahrhunderts der Begriff und die Funktion des Tangens bei dem Astronomen und Mathematiker Ḥabaš al-Ḥāsib[53] erkennbar wird. Er «stellte sich zuerst in seinem Tabellenwerk die Kosekanten, die er Schattendurchmesser (*quṭr aẓ-ẓill*) nennt, zu einer Tafel von 1°-90° zusammen.»[54]

A. von Braunmühl[55], der das Buch (*az-Zīǧ*) von Ḥabaš noch nicht kannte, betrachtete im Jahre 1900 Abu l-Wafā' al-Būzaǧānī[56] (gest. 387 oder 388/998) als Entdecker der Tangensfunktion.

Etwa ein Fünftel Jahrhundert nach dem Erscheinen des Buches A. von Braunmühls hat C. Schoy[57] festgestellt, daß in der Kenntnis der Schattenregel al-Faḍl b. Ḥātim an-Nairīzī[58] (starb zu Beginn des 4./10. Jhs.) der Vorgänger von Abu l-Wafā' war. Als seinen Nachfolger sah Schoy Ibn al-Haiṯam[59] (gest. 432/1041) an, der zur Ermittlung der *qibla*-Richtung den Kotangentensatz der sphärischen Trigonometrie heranzog[60]. Den Winkel der Abweichung eines beliebigen Ortes von Mekka ermittelte Ibn al-Haiṯam als

[49] J. Tropfke, a.a.O. Bd. 5, S. 13.
[50] Zu der Formel s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 261.
[51] *Beiträge zur Erforschung der arabischen Mathematik*, in: Orientalia (Rom), N.S. 17/1948/490-510, bes. S. 502 (Nachdr. in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 96, Frankfurt 1998, S. 46-66, bes. S. 58).
[52] F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 159.
[53] Ebd. Bd. 5, S. 275-276; Bd. 6, S. 173-175.
[54] J. Tropfke, a.a.O. Bd. 5, S. 29; C. Schoy, *Über den Gnomonschatten und die Schattentafeln der arabischen Astronomie. Ein Beitrag zur arabischen Trigonometrie nach unedierten arabischen Handschriften*, Hannover 1923, S. 12, 14-15 (Nachdr. in: Arabic Mathematics and Astronomy Bd. 25, S. 198, 200-201).
[55] *Vorlesungen über Geschichte der Trigonometrie*, Bd. 1, Stuttgart 1900, S. 54-61. Nachdem Braunmühl den *Almagest* des Abu l-Wafā' an Hand des von Carra de Vaux (*L'Almageste d'Abû'lwéfa Albûzdjâni*, in: Journal Asiatique (Paris), 8e série, 19/1892/408-471, Nachdr. in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 61, S. 12-75) zugänglich gemachten Materials trigonometrisch bewertet hat, sagt er, mit einem Zitat von Abu l-Wafā' beginnend: « ‹Also ist es klar, daß, wenn man den Radius gleich 1 setzt, das Verhältnis des Sinus eines Bogens zu dem Sinus seines Complementes der erste Schatten, und das Verhältnis des Sinus des Complementes zu dem Sinus des Bogens der zweite Schatten ist.› Diese Bemerkung kann nicht genug hervorgehoben werden, denn sie versetzt Abû'l Wafâ weit über Mittelalter und Renaissance hinaus bis in die moderne Zeit, und es ist sehr merkwürdig, daß dieser Gedanke $r = 1$ zu setzen, trotzdem er hier auf das Klarste ausgesprochen wurde, wieder völlig in Vergessenheit geriet, indem bis ins 18. Jahrhundert herein der Radius beständig mitgeschleppt wurde.» (Hierzu sei bemerkt, daß $r = 1$ zu setzen, bei arabisch-islamischen Mathematikern ein gewöhnlicher Vorgang war.) «Mit dieser Einführung der 6 trigonometrischen Funktionen durch Abû'l Wafâ war die Trigonometrie des ebenen rechtwinkligen Dreieckes mit einem Schlage so vervollständigt, daß sie ein ganz modernes Gepräge bekam.»
[56] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 321-325; Bd. 6, S. 222-224.
[57] *Abhandlung von al-Faḍl b. Ḥâtim an-Nairîzî: Über die Richtung der Qibla*, in: Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-physikalische Klasse (München) 1922, S. 55-68, bes. S. 56 (Nachdr. in: Islamic Geography Bd. 18, Frankfurt 1992, S. 177-190, bes. S. 178).
[58] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 283-285; Bd. 6, S. 191-192.
[59] Ebd. Bd. 5, S. 362.
[60] C. Schoy, *Abhandlung des al-Ḥasan ibn al-Ḥasan ibn al-Haiṯam (Alhazen) über die Bestimmung der Richtung der Qibla*, in: Zeitschrift der Deutschen Morgenländischen Gesellschaft (Leipzig) 75/1921/242-253, bes. S. 243-244 (Nachdr. in: Islamic Geography Bd. 18, S. 155-166, bes. S. 156-157).

$$\operatorname{cotg} \alpha = \frac{\sin \varphi_1 \cdot \cos \lambda - \cos \varphi_1 \cdot \operatorname{tang} \varphi_2}{\sin \lambda}.$$

wobei φ_2 die Breite Mekkas, φ_1 die Breite des Ortes und λ die Längendifferenz zwischen beiden wiedergibt.
Nach diesen Ausführungen über die Entstehung des Tangens als eine bei Griechen und Indern noch unbekannte trigonometrische Funktion wende ich mich nun der Entwicklung zu, die der menelaisch-ptolemaiische Transversalensatz bei den arabisch-islamischen Mathematikern und Astronomen genommen hat. Es handelt sich dabei um die beiden Formeln

I. $AE:EB = (AU:UD)\cdot(ED:GB);$
II. $AB:EB = (AD:UD)\cdot(GU:GE).$

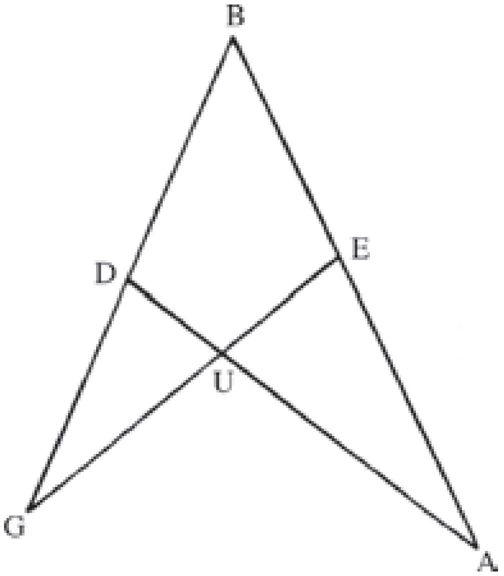


Fig. 1 (A. Björnbo)

«Ersetzt man die geraden Linien der Fig. 1 durch Bögen größter Kugelkreise, die aber kleiner als 180° sind (Fig. 2), so erhält man für die Sinus der Kreisbögen entsprechende Sätze.»[61]

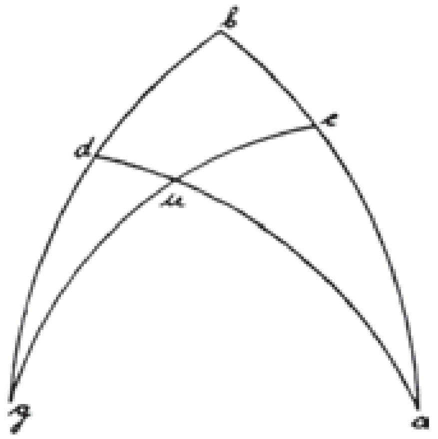


Fig. 2 (A. Björnbo)

Schon Muḥammad b. Mūsā, der älteste der drei Söhne des Mūsā b. Šākir, hatte sich in der ersten Hälfte des 3./9. Jahrhunderts mit dem Problem befaßt. Doch wird Ṯābit b. Qurra (2. Hälfte 3./9. Jh.) von arabisch-islamischen Mathematikern bei der Behandlung der Frage an erster Stelle genannt. Zumindest in seiner Schrift *Kitāb fī š-Šakl al-mulaqqab bi-l-qaṭṭāʿ* hat er sich ernsthaft mit dem Transversalensatz befaßt. Die inzwischen ausführlich untersuchte, im abendländischen Mittelalter in mindestens zwei Übersetzungen verbreitete Schrift Ṯābits[62] weist jedoch nichts wesentlich Neues auf. Dagegen betonen Abū Naṣr b. ʿIrāq (2. Hälfte 4./10. Jh.) und Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī (gest. 672/1274), die die Geschichte des Satzes gut kannten und selbst Wesentliches zu seiner weiteren Entwicklung beigetragen haben, «daß Ṯābit auch bereits einen Satz gebildet habe, der den Transversalensatz überflüssig mache, daß aber bei seiner Anwendung die Kenntnis der zusammengesetzten Verhältnisse vorausgesetzt werden müsse.»[63] Außerdem geht aus einem Zitat des Naṣīraddīn hervor, daß Ṯābit die Sehne des doppelten Bogens, die bei Menelaos und

[61] Axel Björnbo, *Thabits Werk über den Transversalensatz (liber de figura sectore).* Mit Bemerkungen von Heinrich Suter. Herausgegeben … von H. Bürger und K. Kohl, Erlangen 1924, S. 1-2 (Nachdr. in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 21, Frankfurt 1997, S. 215-311, bes. S. 221-222).

[62] Die jüngste Arbeit darüber von Richard Lorch, *Thābit ibn Qurra. On the Sector-Figure and Related Texts. Edited with Translation and Commentary*, Frankfurt 2001 (Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 108).

[63] A. Björnbo, *Thabits Werk* …, a.a.O. S. 61 (Nachdr., a.a.O. S. 281).

Ptolemaios der Berechnung zugrunde gelegt wird, durch die Sinusfunktion ersetzt. H. Suter vermutete, daß die bekannte Redaktion der Schrift über den Transversalensatz aus Ṯābits Jugend stamme und noch eine andere vorhanden sein müsse.[64]

Die Korrektur- und Ausarbeitungsversuche der von Griechen und Indern übernommenen trigonometrischen Kenntnisse wurden nach dem 3./9. Jahrhundert in voller Intensität fortgeführt. Den Grad der Bemühungen der zahlreich beteiligten Gelehrten schildert kein Autor so lebendig wie al-Bīrūnī in seinem *Taḥdīd nihāyāt al-amākin li-taṣḥīḥ masāfāt al-masākin*[65], das als ein Grundwerk der mathematischen Geographie gelten kann. Infolge der intensiven Arbeit und der vorzüglichen Konditionen zur Unterstützung dieser Hilfswissenschaft kam es dazu, daß man gegen Ende des 4./10. Jahrhunderts an einen Wendepunkt in der Geschichte der sphärischen Trigonometrie gelangte. Es ist erstaunlich und nur als Zeichen für die geistige Reife der Zeit aufzufassen, daß drei Gelehrte fast gleichzeitig an unterschiedlichen Orten zur Überzeugung gelangten, den entscheidenden Durchbruch beim Berechnen der Seiten und Winkel des sphärischen Dreiecks erreicht zu haben. Es waren Abu l-Wafāʾ al-Būzaǧānī, Ḥāmid b. al-Ḫiḍr al-Ḫuǧandī und Abū Naṣr Manṣūr b. ʿAlī Ibn ʿIrāq. Wir hören darüber in einigen Werken al-Bīrūnī's, namentlich seinen *Maqālīd ʿilm al-haiʾa*[66], im anonymen *Ǧāmiʿ qawānīn ʿilm al-haiʾa* (5./11. Jh.)[67] und in dem Buch über *aš-Šakl al-qaṭṭāʿ*[68] von Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī (672/1274). Die mathematikhistorische Bedeutung der von den drei Gelehrten erbrachten Leistungen und die Frage nach dem Beitrag, der jedem einzelnen von ihnen zukommt, hat Paul Luckey im Jahre 1940 meisterhaft dargestellt. Obwohl er das erst später entdeckte wichtige Buch *Maqālīd ʿilm al-haiʾa* noch nicht verwenden konnte, hat seine Beschreibung, die er auf der Grundlage des erwähnten anonymen *Ǧāmiʿ* unter dem Titel *Zur Entstehung der Kugeldreiecksrechnung*[69] gegeben hat, ihren Wert bis heute bewahrt und wurde von keiner weiteren Studie überholt. Luckey schreibt: «Eine wirklich umwälzende, selbständige Leistung der Mathematiker im Bereich des Islam ist es aber, daß man um das Jahr 1000 Formeln zwischen den Funktionen von Seiten und Winkeln des Kugeldreiecks aufstellte, insbesondere den sphärischen Sinussatz. An die Stelle des schwerfälligen vollständigen Vierseits des Menelaossatzes tritt jetzt das Dreieck und an die Stelle von 6 Stücken in der Menelaosformel treten nur 4. Hier haben wir die Geburt der eigentlichen sphärischen ‹Trigonometrie› oder sphärischen Dreiecksrechnung. Das nackte sphärische Dreieck ist eine einfachere Figur als das vollständige Vierseit, und doch hat dieses nackte Dreieck 6 Stücke, die 3 Seiten und die 3 Winkel, und das Ziel kann werden, zwischen je vieren dieser Stücke eine Formel zu finden.»

«Hier eröffnen sich alle Aussichten auf die moderne sphärische Trigonometrie und zugleich Aussichten auf die modernen geometrischen Prinzipien der Dualität und der Reziprozität. Denn zum Polardreieck führt nun ein natürlicher Weg. Die von den Griechen noch nicht gestellte Aufgabe, aus den Winkeln eines sphärischen Dreiecks seine Seiten zu berechnen, legt es nahe, auf der Kugel in der oben gekennzeichneten griechischen Weise die Bögen zu konstruieren, die ‹vom Betrage› der gegebenen Winkel sind. Diese Bögen aber, hinreichend verlängert, bilden das Polardreieck. Tatsächlich gelangten die ‹Araber› durch diese Aufgabe zum Polardreieck. Das sieht man nicht erst bei aṭ-Ṭūsī (S. arab. 152-153 = S. 197-198) ...»[70]

«Die Wandlung von der antiken zur modernen sphärischen Rechnung hat hiernach als erstes entscheidendes Kennzeichen den mehr oder weniger bewußten Entschluß, neben den Sinussen der Bö-

[64] A. Björnbo, a.a.O. S. 5 (Nachdr., a.a.O. S. 225); F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 37.

[65] Ed. P. Bulgakov, Kairo 1962 (Nachdr. in: Islamic Geography Bd. 25, Frankfurt 1992); engl. Übers. Jamil Ali, *The Determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities*, Beirut 1967 (Nachdr. Islamic Geography Bd. 26, Frankfurt 1992); Kommentar von E.S. Kennedy, *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Taḥdīd al-Amākin*, Beirut 1973 (Nachdr. Islamic Geography Bd. 27, Frankfurt 1992).

[66] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 6, S. 266-267; ediert und ins Französische übersetzt von M.-Th. Debarnot, Damaskus 1985.

[67] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 6, S. 64-65.

[68] Ediert und ins Französische übersetzt von Alexandre Pacha Carathéodory, *Traité du quadrilatère*, Istanbul 1891 (Nachdr. Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 47, Frankfurt 1998).

[69] in: Deutsche Mathematik (Leipzig) 5/1940/405-446 (Nachdr. in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 77, Frankfurt 1998, S. 137-178).

[70] P. Luckey, *Zur Entstehung der Kugeldreiecksrechnung*, a.a.O. S. 412 (Nachdr., a.a.O. S. 144).

gen auch die Sinusse der Winkel der sphärischen Figuren heranzuziehen und mit den Sinussen dieser Winkel zu einer Arbeitsweise zu gelangen, die nicht mehr jedesmal mit Ptolemäus den Bogen beschreibt, der das Maß für diesen Winkel ist. Es erhebt sich also auf dem Gebiet der terminologischen Forschung die Frage: Wann und wo spricht man zum ersten Mal in Sätzen über sphärische Figuren neben den Sinussen von Bögen auch schlechtweg von den Sinussen von Winkeln?»

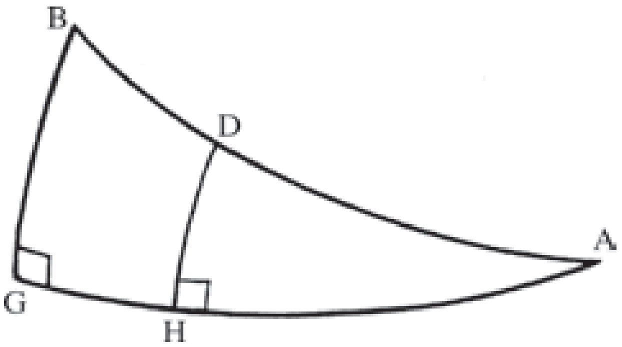
«Im Zusammenhang damit ist das zweite entscheidende Kriterium für den Durchbruch der neuen sphärischen Rechnung die Frage: Arbeitet man mit Dreiecken?»

«Zunächst und vor allem erscheint es mir nützlich, daß untersucht werde, wie sich in bezug auf diese beiden Kriterien die Männer verhalten, die von einem sachkundigen Zeitgenossen als die Entdecker des sphärischen Sinussatzes bezeichnet wurden. Bekanntlich streiten nach dem Zeugnis von al-Bīrūnī die Astronomen Abu 'l-Wafā', Abū Naṣr und al-Ḫuǧandī um den Ruhm, diesen grundlegenden Satz entdeckt zu haben.»[71]

In einem uns erhaltenen Traktat[72], der dem sphärischen Sinussatz und seinen Anwendungen gewidmet ist, wendet sich Abū Naṣr gegen die Behauptung des Abu l-Wafā', er arbeite noch mit dem alten Transversalensatz. Abū Naṣr verteidigt sich «damit, daß er im 17. Lehrsatz des 2. Abschnitts seiner Schrift über die Azimute den sphärischen Sinussatz gebracht habe, allerdings nur für ein rechtwinkliges sphärisches Dreieck, da er im Rahmen jener Schrift keinen Anlaß gehabt habe, weiterzugehen … Jedenfalls bestreitet Abū Naṣr nicht, daß Abu'l-Wafā' vor ihm selbst den sphärischen Sinussatz für das beliebige Dreieck in einer veröffentlichten Schrift, nämlich seinem Almagest, bewies und wohl auch benutzte. Dazu paßt gut die von aṭ-Ṭūsī überlieferte Erklärung al-Bīrūnīs, dem Abū Naṣr sei deshalb die Priorität zuzuerkennen, weil er diese Regel auf alle Fälle anwandte. Es spricht für die Pietät des Schülers, wenn er seinem Lehrer vor anderen den Vorrang gibt. Kann es aber als Kriterium der Priorität der Entdeckung eines Lehrsatzes anerkannt werden, daß einer diesen Lehrsatz als erster auf alle Fälle anwandte? Liegt nicht vielmehr in dieser Äußerung al-Bīrūnīs zwischen den Zeilen das Eingeständnis, daß sein Lehrer Abū Naṣr die eigentliche, nämlich die zeitliche Priorität der Entdeckung nicht beanspruchen kann?»[73]

Der Ursprung der Benennung des Lehrsatzes, dessen Übersetzung sich im Deutschen als «den Transversalensatz ersetzender Satz» eingebürgert hat, anstatt m.E. richtiger «den Transversalensatz entbehrlich machender Satz», ist noch nicht einwandfrei geklärt.[74] Nach al-Bīrūnī[75] soll die Bezeichnung von Kūšyār b. Labbān[76] (2. Hälfte 4./10. Jh.) stammen. Im *Kitāb aš-Šakl al-qaṭṭā'* hat Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī[77] «das Wort ‹Ersatztheorem› dem sphärischen Sinussatz vorbehalten, während er für die Gesamtheit der neuen Theoreme, also für dieses Ersatztheorem, seine Anhängsel und die Tangentenregel den zusammenfassenden Ausdruck ‹die an die Stelle des Transversalensatzes tretenden Elemente› (*uṣūl taqūm … maqām aš-šakl al-qaṭṭā'*) gebraucht»[78].

Aus dem anonymen *Ǧāmi'* übersetzt Luckey[79] den Zusatz zu einem Beweis von Abū Naṣr:



[71] Luckey, a.a.O. S. 413 (Nachdr. S. 145).

[72] *Risāla fī Ma'rifat al-qusīy al-falakīya ba'ḍihā min ba'ḍ bi-ṭarīq ġair ṭarīq ma'rifatihā bi-š-šakl al-qaṭṭā' wa-n-nisba al-mu'allafa*, s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 339; Nachdr. der Ausgabe Haidarabad 1948 in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 28, Frankfurt 1998.

[73] P. Luckey, a.a.O. S. 416 (Nachdr., a.a.O. S. 148).

[74] Ebd. S. 419 (Nachdr. S. 151).

[75] s. *Al-Bīrūnī. Kitāb Maqālīd 'ilm al-hay'a. La trigonométrie sphérique chez les Arabes de l'Est à la fin du Xe siècle. Édition et traduction* par Marie-Thérèse Debarnot, Damaskus 1985, S. 143.

[76] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 343-345; Bd. 6, S. 246-249.

[77] *Kitāb Šakl* (!) *al-qaṭṭā'*, a.a.O. Text S. 89, Übers. S. 115.

[78] P. Luckey, a.a.O. S. 418 (Nachdr. S. 150).

[79] Ebd. S. 418 (Nachdr. S. 150).

«*Wenn AB* (s. Abb.) *ein Viertelkreis ist, so ist BG das Maß (qadr) des Winkels BAG, und der Sinus des Viertelkreises AB ist der Halbmesser BH, der gleich dem Sinus des rechten Winkels AHD ist. Infolgedessen ist dann das Verhältnis des Sinus von AD zu dem Sinus von DH gleich dem Verhältnis des Sinus des Winkels AHD* {*, der gleich dem Sinus von AB ist,*} *zu dem Sinus des Winkels HAD* {*, d.h. dem Sinus von BG …*}. Wenn man das vom Verfasser zur Erläuterung Hinzugefügte, das ich [sagt Luckey] in geschweifte Klammern einschließe, wegläßt, so sieht man den Sprung in die moderne Trigonometrie vollzogen. Es ist von den Sinussen von Winkeln die Rede, und der Satz ist ein Dreiecksatz, nämlich der Sinussatz

$$\text{Sin}\,AD : \text{Sin}\,DH = \text{Sin}\,AHD : \text{Sin}\,HAD$$

für das bei H rechtwinklige Dreieck AHD.»

Zur Frage der zeitlichen Priorität der Entdeckung des Sinussatzes sagt Luckey[80]: «Aus dem, was Delambre, Carra de Vaux und Bürger und Kohl uns über das Vorkommen des eigentlichen sphärischen Sinussatzes bei Abu'l-Wafā' berichten, vermag ich keinen sicheren Einblick zu gewinnen, wie dieser Forscher, dem wir die zeitliche Priorität der Entdeckung zuerkennen zu müssen glauben, sich hinsichtlich der terminologischen Formulierungen verhält, insbesondere ob er wie Abū Naṣr schlechtweg vom Sinus eines Winkels spricht. Der weiteren Forschung bleibt es vorbehalten, hier Klarheit zu bringen …»

In den «Schlüsseln der Astronomie» (*Maqālīd ʿilm al-hai'a*)[81], dem Werk al-Bīrūnī's, das erst seit den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts bekannt ist und seit 1985 ediert und in französischer Übersetzung vorliegt (s.o.S. 134), gibt uns der Autor eine gewisse historische Darstellung der vorangegangenen Bemühungen um die Lehre der vier Größen der sphärischen Astronomie und vermittelt eine klare Vorstellung vom Stand der Kenntnisse, der im Osten der islamischen Welt erreicht wurde. Von al-Bīrūnī stammt die Bezeichnung *aš-šakl aẓ-ẓillī* in der Bedeutung «Tangenssatz». Auf der Basis der von Abu l-Wafā' geschaffenen Ansätze hat er ihn systematisch dargestellt.[82] Es sei hier auch darauf hingewiesen, daß al-Bīrūnī der erste sein dürfte, der die von seinen Vorgängern als Hilfsmittel der Astronomie gewonnenen Regeln der sphärischen Trigonometrie zum Nutzen der mathematischen Geographie verwendet hat. Durch die Ergebnisse, die er bei der Ermittlung von Längendifferenzen zwischen Baġdād und Ġazna erzielt hat, begann eine neue Periode der mathematischen Erfassung der Erdoberfläche.[83]

In letzter Zeit ist auch ein Buch aus dem westlichen Teil der islamischen Welt bekannt geworden, das *Kitāb Maǧhūlāt qusī al-kura*, das von Abū ʿAbdallāh Muḥammad Ibn Muʿāḏ[84] (lebte noch 471/1079), einem jüngeren Zeitgenossen al-Bīrūnī's, verfaßt wurde[85]. Das Buch verrät die Kenntnis einer Äquivalenz der Formel $cos\ \alpha = cos\ a \cdot cos\ \beta$ für ein sphärisches Dreieck mit einem rechten Winkel A.[86] Dieser bisher in etwas anderer Form und von Regiomontanus (1436-1476) her bekannte Cosinussatz wurde mit der lateinischen Übersetzung des Werkes von Ǧābir b. Aflaḥ (6./12. Jh.) in Verbindung gebracht.[87] Nach Meinung von Tropfke[88] soll sich Regiomontanus im vierten Buch seines *De triangulis omnimodis* den Ableitungen Ǧābirs fast wörtlich angeschlossen haben.

Das Fundamentalwerk der arabisch-islamischen Geometrie verdanken wir Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī (gest. 672/1274). Es trägt den Titel *Kitāb aš-Šakl al-qaṭṭāʿ*. Für die Geschichtsschreibung der Mathematik fügte es sich günstig, daß dieses Buch im Jahre 1891 von Alexandre Pacha Carathéodory, dem ehemaligen Außenminister des Osmanischen Reiches, ins Französische übersetzt wurde (s.o.S. 133) und dadurch von A. von Braunmühl, dem großen Historiker der Trigonometrie, adäquat ausgewertet wer-

80 Ebd. S. 420 (Nachdr. S. 152).
81 s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 6, S. 266-267.
82 *Kitāb Maqālīd ʿilm al-hay'a*, a.a.O. S. 131.

83 s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 10, S. 156-161, 167-168.
84 s. ebd. Bd. 5, S. 109.
85 M.V. Villuendas, *La trigonometría europea en el siglo XI. Estudio de la obra de Ibn Muʿāḏ, El Kitāb maŷhūlāt*, Barcelona 1979 (Edition, Faksimile, spanische Übersetzung und Kommentar).
86 s. ebd., Einl. S. XXXV.
87 s. A. von Braunmühl, *Nassîr Eddîn Tûsi und Regiomontan*, in: Nova Acta. Abhandlungen der Kaiserlich-Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher (Halle) 71/1897/31-69, bes. S. 63-64 (Nachdr. in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 50, Frankfurt 1998, S. 213-251, bes. S. 245-246); ders., *Vorlesungen*, a.a.O. Bd. 1, S. 81-82; J. Tropfke, *Geschichte der Elementar-Mathematik*, a.a.O. Bd. 5, S. 131-133; P. Luckey, a.a.O. S. 422 (Nachdr. S. 154).
88 J. Tropfke, a.a.O. Bd. 5, S. 137.

den konnte. Dieser hat es sogar in einer speziellen Studie mit dem Buch von Regiomontanus verglichen (s.o.S. 135u.). Er wollte sich darin ein Urteil darüber bilden, worin Regiomontanus «eigene schöpferische Thätigkeit» bestand, und er wollte die Stichhaltigkeit der Ansicht nachprüfen, nach der Regiomontanus das Verdienst zukomme, die Trigonometrie im Abendland zu einer eigenständigen Disziplin umgestaltet zu haben.[89]

Braunmühl stellte fest, daß Naṣīraddīn im dritten Kapitel seines Buches «eine vollständige Trigonometrie des ebenen Dreiecks» liefere. Die Notwendigkeit einer solchen Lehre begründe Naṣīraddīn mit dem Satz: «Sowohl in der Astronomie als auch beim Studium der Figuren ist es von großem Nutzen, die Methoden kennen zu lernen, mit denen man die Seiten und Winkel eines rechtwinkligen geradlinigen Dreiecks auseinander finden kann».[90]

Braunmühl fährt fort: «Aus diesen Worten geht schon hervor, daß er die Trigonometrie nicht mehr blos als ein Hilfsmittel für die astronomischen Rechnungen, sondern auch als eine für geometrische Untersuchungen wichtige Disciplin angesehen wissen will. Aber hierbei bespricht Nassîr Eddîn nicht nur die Fälle, die beim rechtwinkligen Dreieck auftreten, indem er sich zuerst der Sehnenmethode der Griechen bedient, sondern er behandelt auch alle Fälle des schiefwinkligen Dreieckes und stellt der ‹modernen Methode› folgend als ‹fundamentalen Satz› den Sinussatz auf, für welchen er zwei Beweise giebt.»

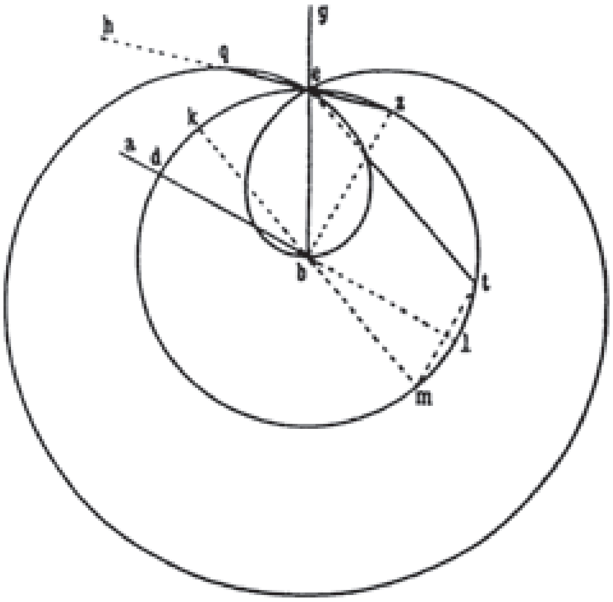
«Der erste derselben ist völlig genau übereinstimmend mit jenem, den Regiomontan im 2. Buche seines Werkes gegeben hat, und der ihm bisher als unbestrittenes Eigenthum zuerkannt wurde.»[91]

Braunmühl hält es ohne weiteres für möglich, daß Regiomontanus Bücher von al-Farġānī, al-Battānī, az-Zarqālī und Ǧābir b. Aflaḥ sowie die *Libros del saber de astronomía* benutzt hat. Was jedoch den Beweis des Sinussatzes für das schiefwinklige Dreieck anbelangt, so biete für ihn «seine Übereinstimmung mit dem Nassîr Eddîns durchaus nichts Überraschendes, da der ihm zu Grunde liegende Gedankengang für beide thatsächlich der zunächst sich darbietende» gewesen sei.[92] Braunmühl stellt aber weiter fest, daß die Lösung der Aufgabe, die Winkel eines schiefwinkligen sphärischen Dreiecks aus den drei Seiten zu berechnen, bei Regiomontanus ebenfalls mit der im Buch von Naṣīraddīn identisch ist. In diesem Zusammenhang kommt Braunmühl auch auf die Aufgabe zu sprechen, die drei Seiten des Dreiecks aus den Winkeln zu ermitteln, und bemerkt als erster, daß Naṣīraddīns Lösung durch Heranziehen des Supplementar- oder Polardreiecks ganz derjenigen gleicht, die bei uns den Namen von Willebrord Snellius (1580-1626) trägt.[93] In von Braunmühls verdienstvoller Arbeit kann ich der Ansicht nicht folgen, daß das Vorkommen gleicher Lösungen bei mehreren wichtigen Aufgaben in den Werken Naṣīraddīns und Regiomontans des letzteren Verdienste nicht schmälere, da «ein Zusammenhang zwischen den Schriften beider Männer nicht existiert» habe.[94] Zu seiner Zeit kam von Braunmühl wohl zwangsläufig zu einer solchen Vorstellung, da er sich eine Bekanntschaft des Regiomontanus mit dem Buch von Naṣīraddīn ohne eine europäische Übersetzung nicht vorstellen konnte. Man kennt zwar eine solche Übersetzung bis heute nicht, dafür aber andere Verbindungswege, auf denen besondere Errungenschaften des arabisch-islamischen Kulturraumes späterer Jahrhunderte durch persönliche Kontakte oder zum persönlichen Gebrauch angefertigte Übersetzungen nach Europa gelangten. Im Falle des Buches von Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī bin ich der Meinung, daß der Inhalt dieses in der islamischen Welt weithin bekannten Werkes ihm durch Kardinal Bessarion, den ehemaligen Patriarchen von Konstantinopel, der mit Regiomontan und Georg Peurbach in Wien zusammentraf,[95] vermittelt worden sein kann. Wenn die Gewissenhaftigkeit, mit der Naṣīraddīn seine Quellen angibt, von Regiomontanus nicht beachtet wird, so sollte man das mit den Worten von Braunmühls «deshalb nicht zu hart beurtheilen, da dasselbe zu seiner Zeit fast durchgängig üblich war.»[96]

[89] A. von Braunmühl, *Nassîr Eddîn Tûsi und Regiomontan*, a.a.O. S. 33 (Nachdr. S. 215).
[90] Naṣīraddīn, *aš-Šakl al-qaṭṭāʿ*, a.a.O., arab. S. 51, Übers. S. 67; v. Braunmühl, *Nassîr Eddîn Tûsi und Regiomontan*, a.a.O. S. 37 (Nachdr. S. 219).
[91] v. Braunmühl, *Nassîr Eddîn Tûsi und Regiomontan*, a.a.O. S. 37 (Nachdr. S. 219).
[92] Ebd. S. 39 (Nachdr. S. 221).
[93] Ebd. S. 50-51 (Nachdr. S. 232-233).
[94] Ebd. S. 51-52 (Nachdr. S. 233-234).
[95] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 6, S. 57-58.
[96] A. von Braunmühl, *Nassîr Eddîn Tûsi und Regiomontan*, a.a.O. S. 58-59 (Nachdr. 240-241).

Die Verwendung geometrischer Instrumente

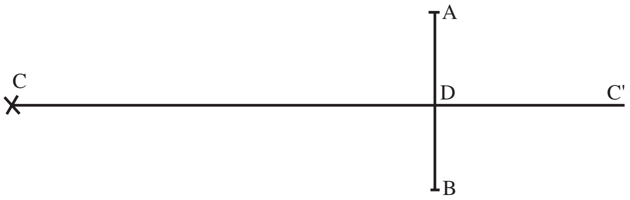
Man kann sich gut vorstellen, daß Kenntnisse von den in den vorislamischen Kulturen verwendeten geometrischen Instrumenten die arabisch-islamischen Länder zu erreichen begannen, bald nachdem ein erstes Elementarwissen der Geometrie seinen Weg in den islamischen Kulturbereich gefunden hatte. Es ist von beträchtlicher mathematikhistorischer Bedeutung, daß Muḥammad, Aḥmad und al-Ḥasan, die drei Söhne von Mūsā b. Šākir, sich schon um die Mitte des 3./9. Jahrhunderts in der Lage fühlten, eine Lösung für die Dreiteilung des Winkels mit Hilfe der Konstruktion einer Kurve vorzuschlagen. Karl Kohl[97] ist im Jahre 1923 an Hand der lateinischen Übersetzung ihres Traktates über die Ausmessung der ebenen und der sphärischen Figuren[98] (*Kitāb Maʿrifat misāḥat al-aškāl al-basīṭa wa-l-kurīya*) der Frage nach der historischen Bedeutung der Konstruktion der drei Brüder nachgegangen. Den betreffenden Teil aus ihrer Schrift übersetzte er auszugsweise[99]: «Wir können ferner beweisen, daß ein Hilfsmittel gefunden ist, durch welches wir jeden beliebigen Winkel in drei gleiche Teile teilen.»
Die Banū Mūsā beweisen zunächst das Vorgehen beim spitzen Winkel (s. Abb.), dann beim stumpfen Winkel: «Bekannt ist ferner, daß, wenn der Winkel, den wir in drei gleiche Teile teilen wollen, größer als ein rechter ist, wir diesen in zwei Hälften teilen und ferner die eine der beiden Hälften in drei gleiche Teile teilen wie oben; damit ist klar, daß wir den dritten Teil des Winkels kennen, der größer als ein rechter ist, und das ist, was wir zeigen wollten.»
Kohl[100] bemerkt dazu: «Bei der Klarheit der Darstellung ist es nicht notwendig, der Konstruktion besondere Erklärungen beizufügen. Hervorzuheben ist: während bei den Konstruktionen der Vorgänger



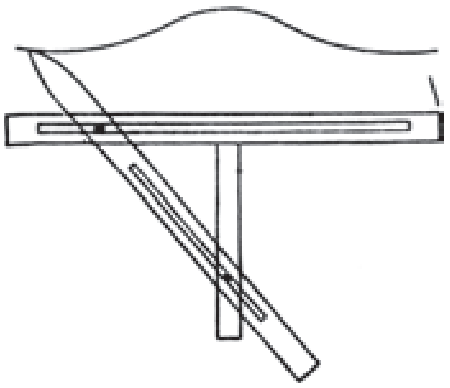
die Dreiteilung mehr oder minder durch Ausprobieren erreicht wurde, bedienen sich hier die Benû Mûsâ der Bewegung als eines systematischen Konstruktionsmittels, lange bevor es im Abendlande zur Anwendung kam.»
Kohl fährt fort: «Die hier auftretende Kurve ist, wie schon oben erwähnt, mit der Pascalschen Schnecke identisch. Doch ist den Benû Mûsâ die Tragweite ihrer Konstruktion nicht zum Bewußtsein gekommen. Dieses Verdienst gebührt Stephan Pascal, nämlich erkannt zu haben, daß mit einer einzigen, einmal gezeichnet vorliegenden Pascalschen Schnecke, im Gegensatz zur Konchoide des Nikomedes (um 70 v.Chr.), jeder beliebige Winkel in drei gleiche Teile geteilt werden kann. Daß die Benû Mûsâ dies aber nicht erkannt haben, geht deutlich aus ihren Ausführungen über die Dreiteilung des stumpfen Winkels hervor.»
Im Jahre 1874 machte Maximilian Curtze[101] darauf aufmerksam, daß Kopernikus am Ende des vierten Buches des in seinem Besitz befindlichen Exemplars der *Elemente* von Euklid in der Edition von 1482 eine Angabe gemacht hat, die den (falschen) Anschein erweckt, er habe im Zusammenhang mit der Dreiteilung des Winkels *De conchoidibus* von Nikomedes in der Hand gehabt. Angesichts der

[97] *Zur Geschichte der Dreiteilung des Winkels*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 54-55/1922-23/180-189 (Nachdr. in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 76, Frankfurt 1998, S. 151-160).
[98] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 251-252.
[99] *Zur Geschichte der Dreiteilung des Winkels*, a.a.O. S. 182-183 (Nachdr., a.a.O. S. 153-154).
[100] Ebd. S. 183 (Nachdr. S. 154).
[101] *Reliquiae Copernicanae*, in: Zeitschrift für Mathematik und Physik (Leipzig) 19/1874/76-82, 432-458, bes. S. 80-81, 448-451.

Tatsache, daß das Buch von Nikomedes nicht erhalten ist (und auch die Araber nicht erreicht hat), kam Curtze zu der richtigen Vermutung, daß Kopernikus Quelle die oben erwähnte lateinische Übersetzung des Buches der Banū Mūsā gewesen sein dürfte. Deren Lösung mit Hilfe der Pascalschen Schnecke ging nach Curtze auf griechische Quellen zurück, wahrscheinlich auf das *Kitāb al-Maʾḫūḏāt*, die *Lemmata* des (Pseudo-) Archimedes. Daß die Banū Mūsā Nikomedes nicht erwähnen und ihre Lösung der Aufgabe auch weder mit der nikomedischen noch ganz mit der der *Lemmata* identisch ist, hat K. Kohl[102] nachgewiesen.
Unter Nikomedes Namen erreichte die arabischen Mathematiker ein Instrument, das als Konchoidenzirkel bekannt ist.[103] Der Mathematiker Abū Ǧaʿfar Muḥammad b. al-Ḥusain al-Ḫāzin (2. Hälfte 4./10. Jh.) berichtet in seiner «Abhandlung über die Auffindung zweier mittlerer Proportionalen zwischen zwei Geraden auf dem Wege der starren Geometrie» (*Risāla fī stiḫrāǧ ḫaṭṭain bain ḫaṭṭain mutawāliyain mutanāsibain min ṭarīq al-handasa aṯ-ṯābita*)[104] über dieses Instrument und die damit zu lösende Aufgabe, wobei er auf die Wiedergabe einer bildlichen Darstellung des Gerätes verzichtet. Er gibt den Satz des Eutokios mit dessen Beweis wieder. Dann sagt er, er habe das Instrument aus Holz nachgebaut und festgestellt, daß die Aufgabe damit tatsächlich gelöst werden könne. Löse man sie jedoch mit einer Hyperbel, so gehe man den Weg der starren Geometrie, d.h. man verlasse die Bewegungsgeometrie.[105] Bei der Aufgabe handelt es sich um die Ermittlung des «geometrischen Ortes eines Punktes, dessen geradlinige Verbindung mit einem gegebenen Punkte durch eine gleichfalls gegebene Gerade so geschnitten wird, daß das Stück zwischen der Schneidenden und dem Orte eine gegebene Länge besitzt.»[106]



Gegeben sind die Gerade AB, der Punkt C, die schneidende Linie CC' und der Abstand zwischen B und D. Gesucht wird der Schnittpunkt D. Als Quelle für diese Aufgabe nennt Abū Ǧaʿfar al-Ḫāzin ein Buch von Eutokios (6. Jh.n.Chr.)[107], in dem dieser die Aussprüche der alten Geometer gesammelt habe.[108]



Skizze des Konchoidenzirkels von M. Cantor (*Vorlesungen*, Bd. 1, S. 351)

Die relativ frühe und intensive Beschäftigung auf dem Gebiet der theoretischen und angewandten Geometrie mit Kurven dritter Ordnung und mit der Ausmessung von Oberflächen und Volumina konischer Figuren führte die Mathematiker des arabisch-islamischen Kulturbereiches zur Erfindung dazu notwendiger Zirkel, soweit diese ihnen nicht von ihren Vorgängern her bekannt oder zugänglich waren. al-Bīrūnī (gest. 440/1048) sagt, man werde zur Konstruktion von Kegelschnitten geführt, sobald man den Projektionspol bei Astrolabscheiben nicht auf die Kugel, sondern auf eine andere Stelle der Achse zu legen hat (s.u.S. 152).

[102] *Zur Geschichte der Dreiteilung des Winkels*, a.a.O. S. 181 (Nachdr., a.a.O. S. 152); F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 149-150, 246-248.
[103] Ebd. S. 186-189 (Nachdr. S. 157-160).
[104] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 306.
[105] Handschrift Paris, Bibliothèque nationale, ar. 2457, fol. 298b; vgl. K. Kohl, a.a.O. S. 186-187 (Nachdr., a.a.O. S. 157-158).
[106] M. Cantor, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, 3. Aufl., Bd. 1, Leipzig 1907 (Nachdr. New York und Stuttgart 1965), S. 351.
[107] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 188.
[108] Handschrift Paris, Bibliothèque nationale, ar. 2457, fol. 298a.

Der große Mathematiker Ibrāhīm b. Sinān b. Ṯābit (gest. 335/946), der sich intensiv mit der Berechnung der Parabelquadratur und der Konstruktion von Kegelschnitten befaßt hat, kannte noch keinen speziellen Zirkel zum Zeichnen von Kegelschnitten. Er konstruierte Ellipsen, Hyperbeln und Parabeln nach wie vor mit Hilfe eines einfachen Zirkels und eines Lineals nachdem er einzelne Punkte bestimmt hatte (s.u.S. 152). Nach heutiger Kenntnis war Abū Sahl al-Kūhī (2. Hälfte 4./10. Jh.) der erste, der im arabisch-islamischen Kulturraum den Bau eines Zirkels zum Zeichnen von Kegelschnitten beschrieben hat. Das von ihm gebaute Instrument erfuhr später von Hibatallāh b. al-Ḥusain al-Badīʿ al-Asṭurlābī (gest. 534/1140) eine gewisse Verbesserung (s.u.S. 152).

Diese Hinweise auf die Verwendung geometrischer Instrumente seien mit der Frage nach der konstanten Zirkelöffnung bei der Lösung gewisser Aufgaben abgeschlossen. Hierzu steht uns eine Untersuchung von W.M. Kutta aus dem Jahre 1897 unter dem Titel *Zur Geschichte der Geometrie mit constanter Zirkelöffnung*[109] zur Verfügung. Im Zuge seiner Arbeit fand Kutta im Buch des Abu l-Wafāʾ al-Būzaǧānī[110] (gest. 387 oder 388/998) über die geometrischen Konstruktionen den ersten wirklichen Versuch der Lösung geometrischer Aufgaben mit konstanter Zirkelöffnung.[111] Nachdem er dies an Hand einiger Beispiele belegt hat, gibt Kutta den folgenden Ausblick: «Das nun folgende halbe Jahrtausend der Geschichte der Mathematik bietet uns keine Beispiele von Versuchen einer derartigen Behandlung geometrischer Aufgaben. Erst um die Wende des 15. Jahrhunderts, in der Zeit der Hochrenaissance, die auf so vielen Gebieten auch der Wissenschaft neue Gesichts- und Gedankenkreise erschloß und alte, vergessene wieder eröffnete, stoßen wir auf Versuche solcher Lösungen. Und zwar sind es die Träger zweier berühmter Künstlernamen, die in ihrer Vielseitigkeit mit Vorliebe auch mathematischen Neigungen folgend dieses Gebiet, allerdings nur flüchtig, gestreift haben, nämlich Lionardo da Vinci und Dürer.»

Abschließend sei hier ein Aspekt erwähnt, der neben seiner mathematikhistorischen auch kartographiehistorische Bedeutung besitzt und bisher unbekannt war. Es ist der Umgang mit dem geöffneten Zirkel, der zusammen mit der Benutzung graduierter Karten für arabisch-islamische Nautiker bei der Seefahrt im Indischen Ozean unverzichtbar war.[112]

[109] Erschienen in: Nova Acta. Abhandlungen der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher (Halle) 71/1897/69-104 (Nachdr. in: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 61, Frankfurt1998, S. 235-270).
[110] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 5, S. 321-325.
[111] W.M. Kutta, *Zur Geschichte der Geometrie mit constanter Zirkelöffnung*, a.a.O. S. 74 (Nachdr., a.a.O. S. 240).
[112] s. F. Sezgin, a.a.O. Bd. 11, S. 267-268.

Setzwaagen

Setzwaagen mit einem gleichschenkligen Dreieck oder einem Quadrat als Fundament waren offenbar die geläufigsten Typen dieser Art von Nivellierinstrumenten. Unter dem Namen *kūniyā* werden sie von Quṭbaddīn aš-Šīrāzī (gest. 710/1311) in seinem Buch *at-Tuḥfa aš-šāhīya fī ʿilm al-haiʾa*[1] im Zusammenhang mit dem «indischen Kreis» erwähnt.

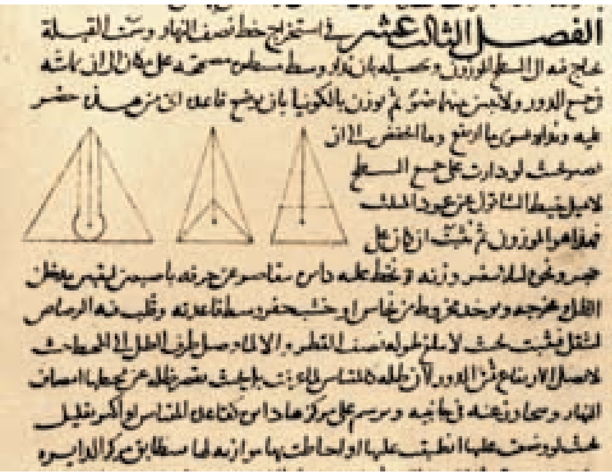


Abb. aus aš-Šīrāzī, *at-Tuḥfa,* Pariser Handschrift.

Modelle aus Messing,
Höhe: 30 cm.
(Inventar-Nr. D 1.04
und D 1.05)

[1] Handschrift Paris, Bibliothèque nationale, ar. 2516, fol. 102 a.

Ibn Sīnā's Nivelliergerät

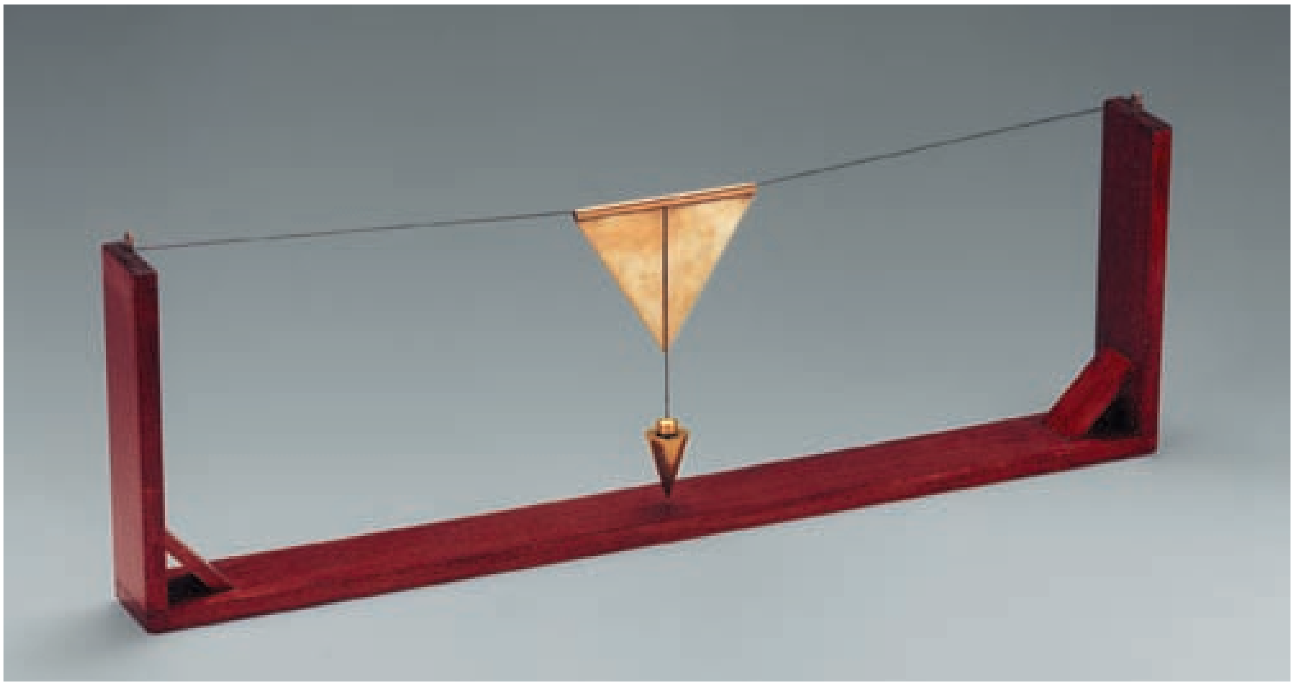
Unser Modell:
Messinggnomon mit Strukturfarbe.
Messingwanne, vergoldet.
Höhe: 28 cm.
(Inventar-Nr. D 1.27)

Bei der Beschreibung eines Beobachtungsinstrumentes, das mit ca. 3,5 m langen Schenkeln zur Ermittlung der Sternhöhen dient (s.o.II, 26), beschreibt Ibn Sīnā (gest. 428/1037) auch ein Nivelliergerät. Eine rundes Becken wird mit Wasser gefüllt, bis die Höhe des Wassers genau mit dem Rand des Beckens übereinstimmt. Das Wasser soll trüb oder gefärbt sein.[1]

Die Art des Nivellierens bringt Ibn Sīnā in Zusammenhang mit der Frage, einen Gnomon senkrecht zu stellen, die er in einem Abschnitt seines Büchleins über «Die Herstellung einer ebenen Fläche und eines Gnomons zur Bestimmung der Meridianlinie» behandelt.[2]

[1] E. Wiedemann (mit Th.W. Juynboll), *Avicennas Schrift über ein von ihm ersonnenes Beobachtungsinstrument*, in: Acta orientalia (Leiden) 11/1926/81-167, bes. S. 110 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften zur arabisch-islamischen Wissenschaftsgeschichte*, hier Bd. 2, S. 1146).

[2] «Ähnlich verfährt man mit der Prüfung des aufzustellenden Körpers, des Gnomons. Ist er auf der Drehbank (*ǧahr*) abgedreht, so dreht man etwa in der Höhe des Beckenrandes über dem Beckenboden eine kreisrunde Linie in den Gnomon.» «Stellt man den Gnomon auf dem Beckenboden auf und bringt man diese kreisrunde Linie in die Fläche des Wassers in der Mitte des Beckens, so weiß man, daß der Gnomon genau senkrecht auf dem Horizont steht. Dabei ist es am zweckmäßigsten, wenn der dem Gnomon benachbarte Teil des Wassers trübe (*kadir*) oder geschwärzt ist, denn das reine blaue Wasser täuscht den Blick, wenn er beurteilen soll, ob das Wasser, die Wasseroberfläche mit der gezeichneten, d.h. eingedrehten Linie zusammenfällt. (Man sieht dann durch das Wasser den Boden des Gefäßes, den unteren Teil des Gnomons; auch kann man durch Reflexe gestört werden.) Manchmal fällt erstere nicht mit letzterer zusammen und man glaubt, daß sie zusammenfällt; andererseits fällt manchmal erstere mit letzterer zusammen und man glaubt, daß dies nicht der Fall ist. In der geschilderten Weise muß man durch Schwärzen des Wassers bei der Bestimmung der Meridianlinie Vorsicht walten lassen» (E. Wiedemann, a.a.O. S. 110-111; Nachdruck S.1146-1147).



Unser Modell (*murǧīqal*):
Messingdreieck, Seitenlänge 10,5 cm, Lot und Fäden.
Die horizontale Verstrebung wurdevon uns angebracht,
um das Gerät in einer Vitrine ausstellen zu können.
(Inventar-Nr. D 1.06)

Nivellierwaagen
in Andalusien

Der andalusische Gelehrte Abū ʿUṯmān Saʿīd b. Aḥmad Ibn Luyūn (gest. 750/1349) aus Almeria[1] erwähnt in einem Lehrgedicht «Über die Art, wie man den Boden nivelliert und das Fließen des Wassers erleichtert»[2] drei Typen von Nivellierinstrumenten mit den Namen *murǧīqal* («Fledermaus», span. *murciélago*), *mīzān* («Waage») und *qubṭāl* («Latte», lat. *cubitale*) in Verbindung mit *ǧafna* («Schüssel»).

Das Nivellieren mit dem *murǧīqal* «geschieht in folgender Weise: Man stellt zwei Stäbe von der Länge von einer Elle in einem Abstand von 10 Ellen am Boden oder entsprechend auf und zieht eine Schnur (*šarīṭ*) von der Spitze des einen Stabes zu derjenigen des anderen und hängt den *murǧīqal* in der Mitte der Schnur auf. Er besteht aus einem Dreieck aus Holz, auf dessen Mitte eine Linie gezogen ist; ferner ist an ihm ein Faden (*ḫaiṭ*), an dessen Ende ein Gewicht angebracht ist (das Bleilot). Fällt dieser auf die Mittellinie des *murǧīqal* und die der Erde zugewandte Spitze desselben, so haben die Stellen auf der Erde zwischen den beiden Stäben gleiche Höhe. Wenn aber der Faden von der Linie abweicht, so hebt man den Stab, bei welchem etwas mangelt, oder senkt den Stab, welcher zu hoch ist, bis das Wägen richtig ist (das Gewicht einspielt). Dann wechselt man mit dem einen der Stäbe den Ort und wägt wieder und fährt so fort bis man fertig ist.»[3]

[1] s. C. Brockelmann, *Geschichte der arabischen Litteratur*, Suppl.-Bd. 2, S. 380; Kaḥḥāla, *Muʿǧam al-muʾallifīn*, Bd. 4, S. 210.

[2] Unter dem Titel *Ibdāʾ al-malāḥa wa-inhāʾ ar-raǧāḥa fī uṣūl ṣināʿat al-filāḥa* unvollständig erhalten in Granada (s. Brockelmann, a.a.O.), u.a. noch H.L. Fleischer, *Über Ibn Loyón's Lehrgedicht vom spanisch-arabischen Land- und Gartenbau*, in: *Kleinere Schriften*, Bd. 3, Leipzig 1888, S. 187-198.

[3] E. Wiedemann, *Zur Technik bei den Arabern* (= Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. X), in: Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 36/1906/ 307-357, bes. S. 317-318 (Nachdruck in: *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte*, Bd. 1, hier S. 282-283).

Unser Modell (*mīzān* mit *qubṭāl):*
Holzgestell mit Messingeinlagen
zur Beschwerung, Basis: 50 cm.
Lot aus Messing.
(Inventar-Nr. D 1.07)

Das zweite von Ibn Luyūn beschriebene Nivelliergerät ist die «Waage (*mīzān*) der Bauleute». Das Nivellieren damit «besteht darin, daß man einen vollkommenen *qubṭāl* auf die Erde oder die Wand des Gebäudes hinstreckt, indem man die beiden Enden fest macht. Dann setzt Du die Waage auf die Mitte des *qubṭāl* oder auf die Mitte der Wand. Sie (die Waage) besteht aus einem viereckigen Stück Holz, auf dessen Mitte eine Linie gezogen ist. Oberhalb dieser Linie befindet sich ein Faden, an dessen Ende ein Spannungsgewicht (*ṯaqqāla*) hängt ...«[4]

Die dritte Art des Nivellierens, die mit Schüssel und Latte, entspricht etwa dem bereits von Ibn Sīnā vorgeschlagenen Verfahren mit seinem Nivelliergerät (s.o.S. 141). Die Beschaffenheit der Oberfläche, die mittels einer mit Wasser gefüllten Schüssel (*ǧafna*) nivelliert werden soll, prüft Ibn Luyūn mit einer Latte (*qubṭāl*), die auf die Schüssel gelegt wird.

unser Modell (*ǧafna* mit *qubṭāl*):
quadratische Messingwanne: 12 ×12 × 33 m.
(Inventar-Nr. D 1.09)

[4] Ebd. S. 317 (Nachdruck S. 282); s. noch E. Wiedemann (mit Th.W. Juynboll), *Avicennas Schrift über ein von ihm ersonnenes Beobachtungsinstrument*, a.a.O.. S. 158 (Nachdruck S. 1194).

Die drei von al-Marrākušī beschriebenen Nivelliergeräte

Abū ʿAlī al-Ḥasan b. ʿAlī al-Marrākušī (gest. um 660-680/1260-1280) gibt die Beschreibung von drei Nivelliergeräten mit Abbildungen:

Das erste von al-Marrākušī beschriebene Nivelliergerät.
Unser Modell: Messing, Breite: 52 cm
(Inventar-Nr. D 1.28)

1. «Man nimmt einen gut zugerichteten Stab AB aus Kupfer oder einem recht harten Holz, hinlänglich dick, so daß er sich nicht biegt, teilt ihn in zwei gleiche Teile im Punkt S und bohrt dort ein rundes Loch mit S als Mittelpunkt: an dem Stab bringt man eine Zunge OCQ an, so daß das von dieser Spitze C gefällte Lot mit CS senkrecht zu AB zusammenfällt. Dann nimmt man zwei Füße AKHI und BNLM aus Kupfer oder Holz mit dreieckiger Basis und dreieckigen gleich großen Flächen. Man befestigt sorgfältig den Stab auf diesen gleich hohen Füßen, wobei der Winkel IAO gleich dem Winkel NBQ ist. Viereckige Füße tun denselben Dienst. Dann nimmt man ein Gehänge xy, wie das der Wage und befestigt es, wie man es bei den Wagen tut, so daß der Punkt z der inneren Spitze des Gehänges gerade gegenüber dem Punkt der Zunge sich befindet, damit das Instrument richtig ist; endlich hängt man ein Bleigewicht am Ende y auf. – Das Instrument stellt man dann auf die zu untersuchende Fläche; ist die innere Spitze des Gehänges in der vertikalen Richtung des Endes der Zunge, so ist die Ebene horizontal.»[1]

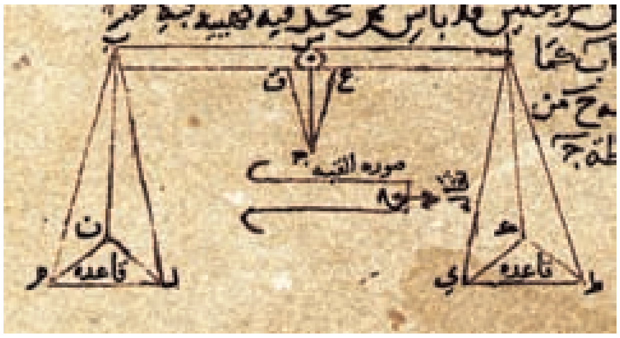


Abb. bei Marrākušī

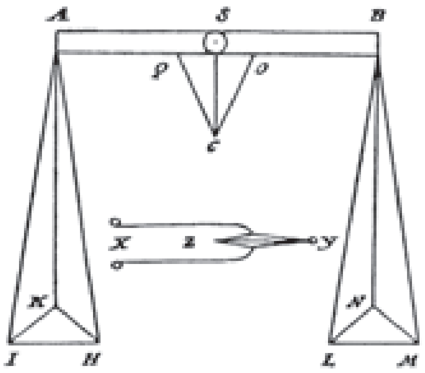
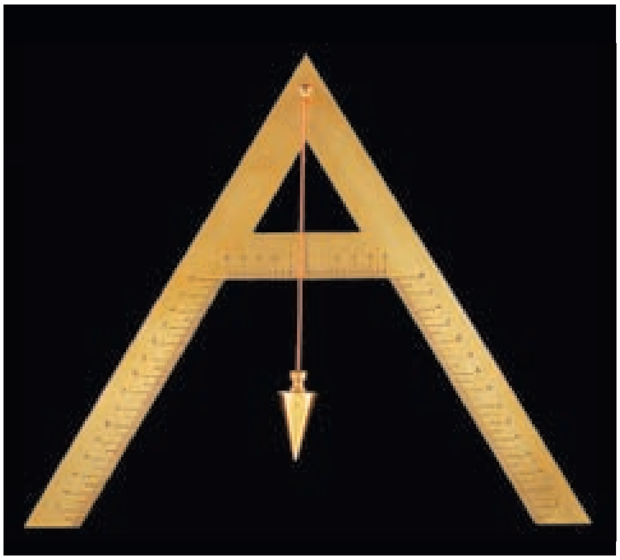


Abb. bei Th. Ibel.

[1] al-Marrākušī, *Ǧāmiʿ al-mabādiʾ wa-l-ġāyāt fī ʿilm al-mīqāt*, Faksimile-Edition Frankfurt 1985, Bd. 1, S. 187-188; deutsche Übers. Thomas Ibel, *Die Wage im Altertum und Mittelalter*, Erlangen 1908, S. 161 (Nachdruck in: Natural Sciences in Islam, Bd. 45, Frankfurt 2001, S. 165); französische Übers. J.-J. und L.A. Sédillot, *Traité des instruments astronomiques des arabes*, Bd. 1, Paris 1834 (Nachdruck: Islamic Mathematics and Astronomy Bd. 41, Frankfurt 1998), S. 376-377.

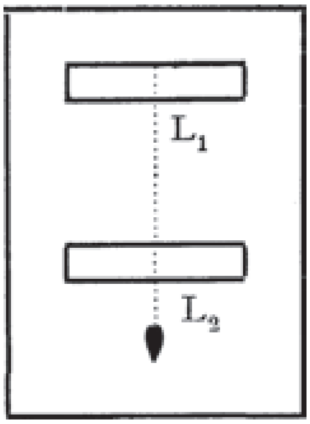
2. Das zweite von al-Marrākušī beschriebene und mit einer Abbildung versehene Nivelliergerät besteht aus einem gleichschenkligen Dreieck, dessen vertikal stehende Schenkel in ihrer Mitte, parallel zum Fundament, durch ein Messing- oder Holzlineal verbunden werden. Am Scheitelpunkt der stehenden Schenkel ist ein Lot befestigt. Beim Nivellieren muß das Lot den gekennzeichneten Mittelpunkt des Lineals tangieren.[2]

Abb. bei al-Marrākušī



Unser Modell des zweiten von al-Marrākušī beschriebenen Nivelliergeräts: Messing, geätzte Skalen, mit Lot. (Inventar-Nr. D 1.29)

Unser Modell des dritten von al-Marrākušī beschriebenen Nivelliergeräts: Hartholz, mit Lot aus Messing. Höhe 30 cm. (Inventar-Nr. D 1.30)



3. Beim dritten der Nivelliergeräte, die al-Marrākušī beschreibt, handelt es sich darum zu prüfen, ob eine ebene Fläche genau senkrecht steht. Dazu «befestigt man zwei kleine Latten, L_1 und L_2, am besten rechteckige Prismen, deren entsprechende Seiten gleich sind, die eine L_1 an dem oberen Ende der Ebene, die andere L_2 ein wenig tiefer, so daß sie einander entsprechen. Von der oberen läßt man ein Lot herabhängen, das an der unteren vorbeigeht. Berührt der Faden die Latte L_2, ohne sich aber an sie anzulegen, so ist die Ebene vertikal, sonst nicht.»[3]

[2] al-Marrākušī, a.a.O., Bd. 1, S. 188-189.
[3] al-Marrākušī, a.a.O., Bd. 1, S. 189; deutsche Übers. E. Wiedemann, *Astronomische Instrumente* (Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. XVIII.1), in: Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 41/1909/26-46, bes. S. 29 (Nachdruck in: *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte*, Bd. 1, S. 544 ff., hier S. 547); französische Übers. J.-J. und L.A. Sédillot, *Traité,* a.a.O. S. 377-378.

Ein kreisförmiges Nivelliergerät

Unser Modell:
Kupfer.
Durchmesser: 40 cm.
(Inventar-Nr. D 1.08)

Muʾaiyadaddīn al-ʿUrḍī, einer der Gründer der Sternwarte von Marāġa (1259-1270), beschreibt in seinem Buch über deren Instrumente (s.o. II, 28 u.) auch ein Nivelliergerät mit Namen *afāḏain*, das dazu diente, die Ebenmäßigkeit ringförmiger Flächen zu prüfen: «Man fertigt aus Ton, aus dem die Töpferwaren hergestellt werden, eine kreisrunde Rinne (N), die an dem inneren Rande des betreffenden Ringes (R) anliegt. (Die Rinne wird also von dem Ring umgeben.) Der innere Rand (i) der Rinne ist höher als der äußere (a) (der die Innenfläche des Ringes berührt). Man füllt die Rinne mit Wasser, auf das feine Asche (*ušnān*) gestreut wird. Hat man genügend Wasser eingefüllt, so fließt es über den äußeren, niedrigen Rand des Ringes ab. Bei der Ausführung des Verfahrens muß vollkommene Windstille herrschen, damit das Wasser durch den Wind nicht in Bewegung gerät. Die Unebenheiten auf den ebenen Flächen der Ringe treten beim Abfließen des mit der Asche bestreuten Wassers gut hervor und werden mit der Feile beseitigt.»[1]

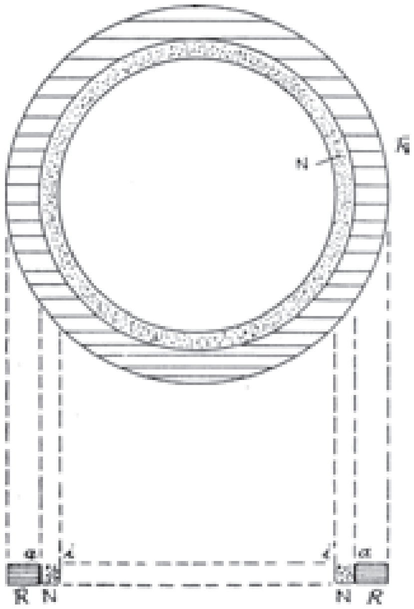
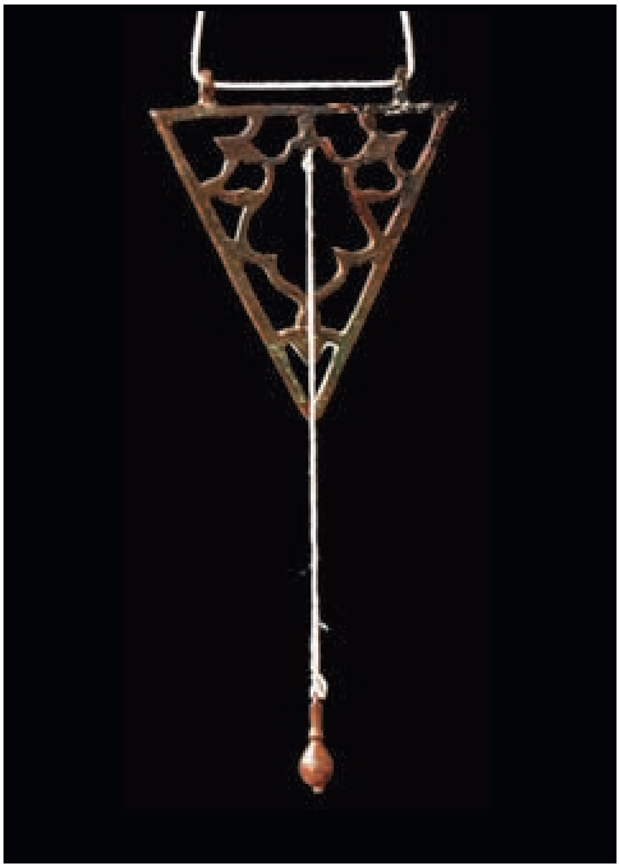


Abb. bei H. Seemann.

[1] Übers. Hugo Seemann, *Die Instrumente der Sternwarte zu Marâgha nach den Mitteilungen von al-ʿUrḍî*, a.a.O. S. 49-50 (Nachdruck S. 52-53).

Nivillierwaage



Wahrscheinlich osmanisch, 10-13./16.-19. Jh., im Besitz des Instituts.

Kupferlegierung, gegossen, 2 Teile: Lot und Spule.
Höhe 9 cm.
(Inventar-Nr. D 1.31)

S.a.: Önder Küçükerman, *Maden Döküm Sanatı,* İstanbul 1994, S. 134 und 181 (Anatolien, 13.-19. Jh.).

Langzirkel

Europäisch, um 1850; im Besitz des Instituts.

Messing, gedreht, 2 Teile, mit Gewinde zu verbinden, Länge 55 und 57 cm. darauf beweglich zwei Messingreiter. Einsätze: Zwei Dorne und Reißfeder aus Stahl, Bleistiftminenhalter aus Messing. Ausgestochenes Holzfuteral mit Samtfutter.
(Inventar-Nr. D 1.22)

Unser Modell: Lineal aus Hartholz mit Skala aus Messing, Länge: 60 cm. Fixierbare Messingspitzen mit Ablesefenster. Arabische Buchstaben in ihrem Zahlenwert. (Inventar-Nr. D 1.10)

Langzirkel

zum Zeichnen großer Kreise

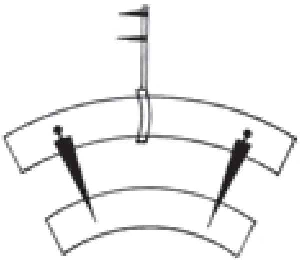
Unser Modell gibt ein Exemplar wieder, wie es sich unter den Instrumenten osmanischer Astronomen befindet, die auf den bekannten Miniaturen aus dem späten 10./16. Jahrhundert (s.o. II, 35) abgebildet sind, auf denen die Arbeitsweise dieser Gelehrten dargestellt ist.

Detail aus *Šamā'ilnāma*, Hds. İstanbul, Universitäts-Bibliothek, T.Y. 1404, fol. 57a.

Miniatur aus *Ālāt ar-raṣadīya li-zīğ-i šahinšāhīya*. Hds. İstanbul, Saray, Hazine 452 fol. 16b.

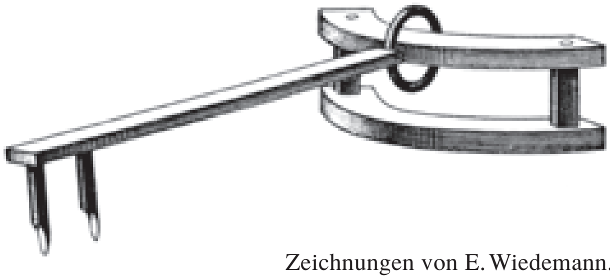
Zirkel

zum Zeichnen großer Halb- und Teilkreise



Unser Modell: Kreissegmente aufschraubbar. Länge der Reißnadel: 30 cm. (Inventar-Nr. D 1.11)

al-Ḥasan b. al-Ḥasan Ibn al-Haiṯam (gest. um 432/1041) beschreibt in seinem Traktat «Über den Zirkel der großen Kreise» (*Risāla fī Barkār ad-dawā-ʾir al-ʿiẓām*), der uns in drei Handschriften erhalten ist,[1] dieses vielleicht von ihm selbst entwickelte Instrument, das E. Wiedemann als erster untersucht und bekannt gemacht hat.[2]



Zeichnungen von E. Wiedemann.

Der Zirkel ist im Vergleich zu den zu zeichnenden Kreisen klein und handlich, dabei bleibt der Abstand zwischen Peripherie und Mittelpunkt des Kreises unveränderlich. Zu dem Instrument gehören mehrere Kreissegmente mit unterschiedlichen Radien.

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 5, S. 370.

[2] *Zur Geschichte der Brennspiegel*, in: Annalen der Physik (Leipzig) 39/1890/110-130, bes. S. 119-120 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften zur arabisch-islamischen Wissenschaftsgeschichte*, Bd. 1, S. 59-79, bes. S. 68-69); ders., *Über geometrische Instrumente bei den muslimischen Völkern*, in: Zeitschrift für Vermessungswesen (Stuttgart) 1910, S. 585-592, 617-625, bes. 585-592 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften*, Bd. 1, S. 417-433, bes. S. 417-424).

Instrument

zur Ermittlung des Mittelpunktes dreier beliebiger Punkte und zur Bestimmung von Winkeln auf einem Globus

Unser Modell:
Länge des Lineals: 70 cm,
Drehbare Alidade, Länge: 36 cm,
Messing, graviert.
(Inventar-Nr. D 1.12)

Auf die Konstruktion und Verwendung dieses Instrumentes aus dem zweiten Kapitel der sechsten Kategorie des *Ǧāmiʿ* von Ibn ar-Razzāz al-Ǧazarī[1] hat wiederum E. Wiedemann aufmerksam gemacht.[2]

Das Instrument besteht aus einem Winkelmesser in Halbkreisform, einem längeren Lineal mit Skala und einem kürzeren Lineal ohne Skala. Letzteres ist um die Mitte des längeren Lineals und um den Mittelpunkt des Winkelmessers drehbar. Das verwendete Messing ist so dünn, daß es elastisch ist und an der Oberfläche des Globus anliegen kann.

[1] *al-Ǧāmiʿ bain al-ʿilm wa-l ʿamal an-nāfiʿ fī ṣināʿat al-ḥiyal*, Faksimile-Edition Frankfurt 2002, S. 514-519.
[2] *Über geometrische Instrumente bei den muslimischen Völkern. 2. Über eine Art von Transporteuren nach al Gazarî*, in: Zeitschrift für Vermessungswesen (Stuttgart)1910, S. 617-620, Nachdruck in: *Gesammelte Schriften*, Bd. 1, S. 425-428, s. noch D. Hill, *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices*, Dordrecht 1974, S. 196-198.

Unser Modell des Gerätes von Abū Sahl al-Kūhī und Muḥammad b. al-Ḥusain: Messing, graviert. Schreibrohr, Länge: 56 cm. Zwei Halbkreise mit 180 Grad-Teilung. (Inventar-Nr. D 1.13)

Zirkel
zum Zeichnen von Kegelschnitten

Die Frage der zeichnerischen Darstellung von Kegelschnitten war im arabisch-islamischen Kulturkreis seit dem 9. Jh.n.Chr. eine dringliche Angelegenheit. Geometer und Astronomen waren so früh schon mit dieser Frage vor allem im Hinblick auf die Konstruktion von Kegelschnitten im Bauwesen und bei der Herstellung von Astrolabien konfrontiert. Es ist noch unbekannt, welcher Art Geräte arabisch-islamische Gelehrte in diesem Zusammenhang von ihren Vorgängern aus der Spätantike übernehmen konnten. Der aus Askalon stammende Mathematiker Eutokios (2. Hälfte 6. Jh.n.Chr.[1]) berichtet uns in seinem Kommentar zu Archimedes' Buch über Kugel und Zylinder, daß Isidor von Milet (der zusammen mit Anthemios von Tralles die Hagia Sophia gebaut hat[2]) einen

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 5, S. 188.
[2] s. ebd. S. 18.

Zirkel zum Zeichnen von Parabeln erfunden habe.[3] Zu diesem Zitat von Eutokios bemerkt E. Wiedemann, es scheine «sonst mit solchen mechanischen Vorrichtungen nicht besonders bestellt gewesen zu sein, da Eutokios in seinem Kommentar zu einer Stelle in den Kegelschnitten von Apollonius I, 20-21 (Ausgabe von J.L. Heiberg S. 230 ff., 233 ff.) sagt, daß die Mechaniker wegen Mangels an Instrumenten die Kegelschnitte mittels Punkten konstruierten, an die dann ein Lineal angelegt wird.»[4]

Abu r-Raiḥān al-Bīrūnī (gest. 440/1048[5]) weist in seinem *Istīʿāb al-wuǧūh al-mumkina fī ṣanʿat al-asṭurlāb* im Zusammenhang mit der Projektion der auf der Kugel befindlichen Kreise darauf hin, daß man zur «Konstruktion von Kegelschnitten geführt» werde, «sobald man den Projektionspol nicht auf den Pol der Kugel, sondern auf irgendeine andere Stelle der Achse legt».[6]

Die älteste uns bekannte Beschreibung eines Zirkels zur Darstellung von Kegelschnitten stammt von dem Mathematiker und Astronomen Abū Sahl al-Kūhī, der in der zweiten Hälfte des 4./10. Jahrhunderts in Baġdād wirkte.[7] Sein Traktat wurde im Jahre 1874 untersucht, herausgegeben und ins Französische übersetzt.[8] Nach eigener Angabe kannte Abū Sahl al-Kūhī kein Vorbild für seinen «vollkommenen Zirkel» (*barkār tāmm*). Er sagt: «Sollte dieses Gerät vor uns bei den Alten vorhanden, bekannt und benannt gewesen sein und sein Name und die Namen seiner Teile anders gelautet haben als bei uns, dann sei mir vergeben, denn weder das Instrument noch ein Hinweis darauf ist auf uns gekommen. Es ist indes möglich, daß das Instrument und der Nachweis, daß man damit die Linien zeichnen kann, die wir erwähnt haben, existierte, nicht aber seine Anwendung in der Art, wie wir sie im zweiten Kapitel dieses Buches praktizieren werden.»[9]

Mir ist jedenfalls bisher kein Hinweis bekannt, der auf Spuren einer Kenntnis dieses Instrumentes bei arabisch-islamischen Mathematikern vor Abū Sahl al-Kūhī schließen lassen könnte. Sein Vorgänger Ibrāhīm b. Sinān b. Ṯābit b. Qurra (gest. 335/946), der in der Geschichte der Berechnung der Parabelquadratur einen hervorragenden Platz einnimmt und auch einen Traktat über die Konstruktion der Kegelschnitte verfaßt hat, kennt den speziellen Zirkel zum Zeichnen der Kegelschnitte nicht. Er konstruiert Ellipse, Hyperbel und Parabel nach wie vor mit Hilfe eines einfachen Zirkels und eines Lineals nach der Bestimmung einzelner Punkte.[10]

Eine gewisse Verbesserung dürfte der Zirkel zum Zeichnen der Kegelschnitte in der Darstellung von Hibatallāh b. al-Ḥusain al-Badīʿ al-Asṭurlābī (gest. 534/1140) erhalten haben. Dieser nannte sein Gerät «vollständig-vollkommener Zirkel» (*barkār kāmil tāmm*).[11]

Auf Grund des Hinweises von al-Bīrūnī studierte ein Mathematiker namens Muḥammad b. al-Ḥusain b. Muḥammad b. al-Ḥusain (wirkte im letzten Viertel des 6./12. Jhs.)[12] die Arbeit von Abū Sahl al-Kūhī und verfaßte einen Traktat über das Instrument, welchen er Sulṭān Saladin (Yūsuf b. Aiyūb,

[3] *Commentarii in libros Archimedis De sphæra et cylindro …*, in: *Archimedis opera omnia*, ed. J.L. Heiberg, 2. Ed., Bd. 3, Leipzig 1915, S. 84ff.; E. Wiedemann, *Über die Konstruktion der Ellipse*, in: Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht 50/1919/177-181, bes. S. 177 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften*, Bd. 2, S. 914-918, bes. S. 914); P. Tannery, *Eutocius et ses contemporains*, in: Mémoires scientifiques, Bd. 2, Paris 1912, S. 118-136, bes. S. 119.

[4] E. Wiedemann, *Über die Konstruktion der Ellipse*, a.a.O. S. 177-178 (Nachdruck S. 914-915).

[5] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 5, S. 375ff., Bd. 6, S. 261ff.

[6] E. Wiedemann, *Über die Konstruktion der Ellipse*, a.a.O. S. 179 (Nachdruck S. 916).

[7] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 5, S. 314-321, Bd. 6, S. 218-219.

[8] *Trois traités arabes sur le compas parfait*, publiés et traduits par François Wœpcke, in: Notices et extraits des manuscrits de la Bibliothèque impériale (Paris) 22/1874/1-175 (Nachdruck in: F. Wœpcke, *Études sur les mathématiques arabo-islamiques. Nachdruck von Schriften aus den Jahren 1842-1874*, Frankfurt 1986, Bd. 2, S. 560-734 und in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 66, Frankfurt 1998, S. 33-209).

[9] Französische Übers. von Fr. Wœpcke, a.a.O. S. 68, arabischer Text ebd. S. 145 (Nachdruck in *Études …*, S. 627-628, 704 und in Islamic Mathematics …, Bd. 66, S. 102-103, 179).

[10] s. F. Sezgin, a.a.O., Bd. 5, S. 292-294.

[11] Sein diesem Thema gewidmeter Traktat ist in einer einzigen Handschrift (İstanbul, Universitäts-Bibliothek, A.Y. 314, fol. 119b-122b) erhalten; Faksimile-Edition Frankfurt: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 2001.

[12] s. C. Brockelmann, GAL Bd. 1, S. 471; H. Suter, *Die Mathematiker und Astronomen der Araber und ihre Werke,* a.a.O. S. 139.

reg. 588/1193) widmete.[13] Die nebenstehende Zeichnung stammt aus diesem Werk.
«Auf der Grundplatte ist oben ein Scharnier befestigt, mittels dessen sich ein nach oben gehender Stab gegen die Horizontale neigen läßt. Um die Achse dieses Stabes läßt sich ein zweiter in der Verlängerung des ersten drehen. An ihm ist oben ein zweites Scharnier befestigt, das oben eine Röhre trägt, die als Führung für einen Zeichenstift dient.» Beim Drehen des in der Verlängerung befindlichen Stabes beschreibt der Zeichenstift einen Kegel, «der von der durch die Grundplatte gehenden Zeichenebene geschnitten wird.»[14]

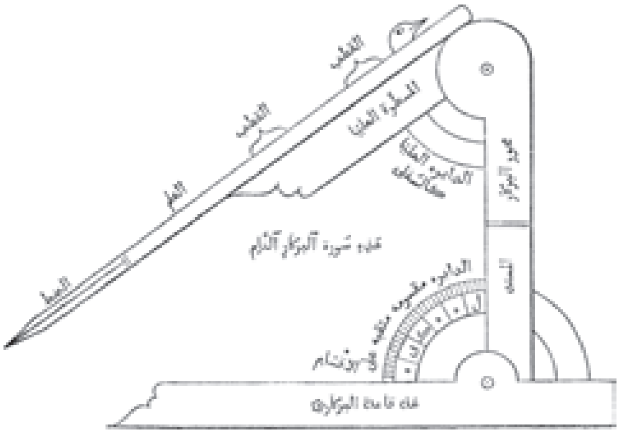
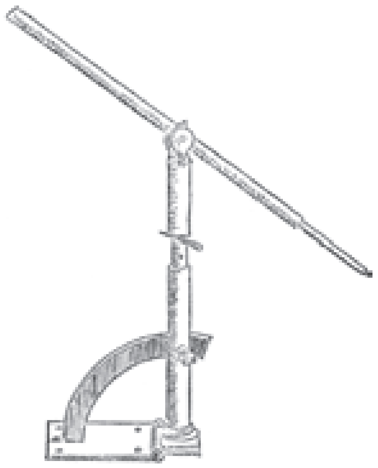


Abb. nach Fr. Woepcke, *Trois traité arabes,* a.a.O.


Unser Modell:
Max. Länge des Schenkels: 71 cm,
Höhe: 36 cm.
Messing, Stahlspitze.
(Inventar-Nr. D 1.01)

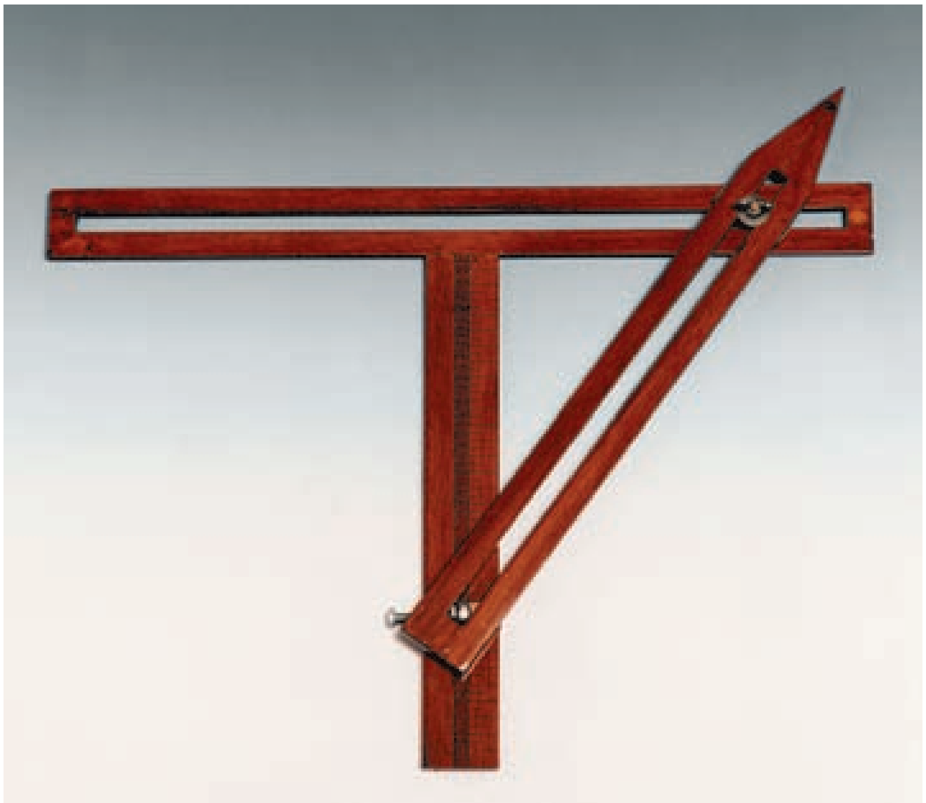

Kegelschnittzirkel von Fr. Barozzi nach Rose, a.a.O. S. 392, Pl. 17.

Dieses in der arabisch-islamischen Welt ziemlich verbreitete Instrument oder seine Beschreibung oder Beides muß irgendwann, vielleicht mehr als einmal, nach Europa gelangt sein. Dort war die Beschäftigung mit ihm das ganze 10./ 16. Jh. hindurch unter Gelehrten und Künstlern geradezu in Mode. Paul L. Rose[15] hat einige, die Namen von Leonardo da Vinci, Albrecht Dürer, Michelangelo, Francesco Barozzi (1537-1604) u.a. tragende Modelle mit den arabischen Vorbildern in Verbindung gebracht. Wir haben uns hier mit dem Nachbau der Konstruktion von Barozzi begnügt.

[13] s. Fr. Wœpcke, *Trois traité arabes,* a.a.O. S. 15-67, 116-144 (Nachdruck, a.a.O. S. 49-101, 150-178).

[14] E. Wiedemann, *Über geometrische Instrumente bei den muslimischen Völkern. 3. Über Zirkel zum Zeichnen von Kegelschnitten*, in: Zeitschrift für Vermessungswesen 1910, S. 621 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften*, Bd. 1, S. 429).

[15] *Renaissance Italian Methods of drawing the Ellipse and related Curves,* in: Physis (Firenze) 12/1970/371-404, bes. 375 f, 392.



Der
Zirkel
des Nikomedes
(ca. 2. Jh. v. Chr.)
in der arabisch-islamischen Tradition

Unser Modell,
Gebaut nach den Skizzen
vonM. Cantor und K. Kohl.:
Holz mit Führungen
aus Messing.
Länge des Zeigers: 44 cm.
(Inventar-Nr. D 1.14)

Als in der zweiten Hälfte des 4./10. Jahrhunderts die beiden Verfahren der geometrischen Beweisführung, die «bewegliche» Geometrie (*al-handasa al-mutaḥarrika*) und die «starre» Geometrie (*al-handasa aṯ-ṯābita*) bei den Mathematikern ihre klare Definition gefunden hatten, brachte der Mathematiker Abū Ǧaʿfar Muḥammad b. al-Ḥusain al-Ḫāzin[1] «die Nikomedische Lösung zur Auffindung der beiden mittleren geometrischen Proportionalen zu zwei gegebenen Strecken[2] und bezeichnet diese Lösung als die ‹Methode des Instrumentes›. Darüber hinaus will er noch eine Lösung nach der geometrischen Methode geben, wobei er eine Hyperbel verwendet.»[3]

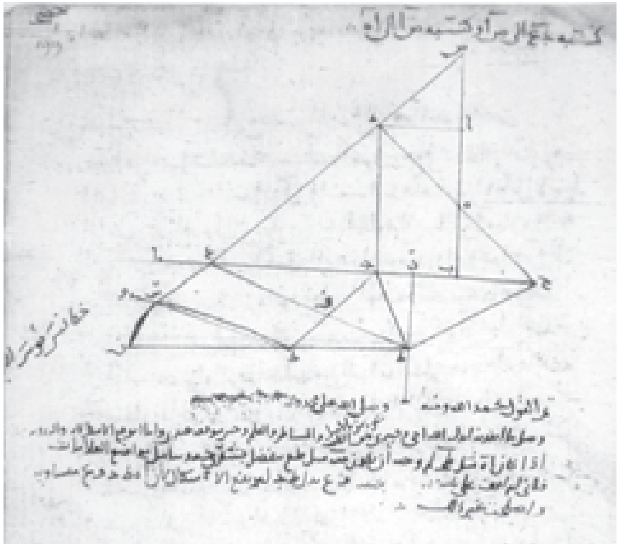


Abb.: Abū Ǧaʿfar al-Ḫāzin's Darstellung der Lösung der Aufgabe mit Hilfe eines Hyperbelschnittes. Aus Hds. Paris 2457/47, fol. 199.

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 5, S. 298, 305-307, Bd. 6, S. 189-190.

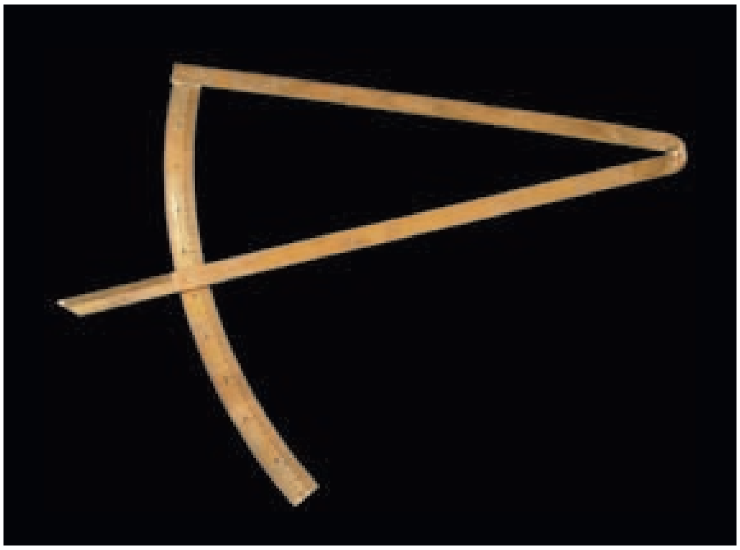
[2] Das «ist der geometrische Ort eines Punktes, dessen geradlinige Verbindung mit einem gegebenen Punkte durch eine gleichfalls gegebene Gerade so geschnitten wird, daß das Stück zwischen der Schneidenden und dem Orte eine gegebene Länge besitzt» (M. Cantor, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, Bd. 1, Leipzig 1907, S. 350).

[3] K. Kohl, *Zur Geschichte der Dreiteilung des Winkels*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 54-55/1922-23/180-189, bes. S. 186 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 76, Frankfurt 1988, S. 151-160, bes. S. 157).

Das gleiche Instrument aus Messing. Länge des Zeigers: 15 cm. (Inventar-Nr. D 1.15)

Wenn Abū Ǧaʿfar al-Ḫāzin die Lösung des Nikomedes (vermutlich 2. Jh. v. Chr.[4]) als «Methode des Instrumentes» bezeichnet, so fügt er hinzu, er habe das Instrument gebaut und damit das Auffinden der gesuchten Linie ausprobiert.[5]
Nikomedes Instrument «bestand aus drei miteinander verbundenen Linealen. Zwei derselben waren senkrecht zueinander fest vereinigt, und während das eine fast seiner ganzen Länge nach durch eine Ritze durchbrochen war, trug das andere ein kleines rundes Zäpfchen. Das durchbrochene Lineal stellte die feste Gerade, das Zäpfchen auf dem anderen stellte den Pol der Muschellinie vor. Das dritte Lineal trug unweit des spitzen Endes ein Zäpfchen ähnlich dem Pole, etwas weiter davon entfernt eine Ritze ähnlich der auf der festen Geraden; die Entfernung des Zäpfchens von der Spitze stellte den gleichbleibenden Abstand vor.»[6]

[4] s. F. Sezgin, a.a.O., Bd. 5, S. 149-151.
[5] K. Kohl, a.a.O. S. 187 (Nachdruck S. 158).
[6] M. Cantor, a.a.O. Bd. 1, S. 351.



Winkelmesser

Diese Art Winkelmesser befindet sich unter den Werkzeugen osmanischer Astronomen, die auf einer Miniatur aus dem 10./16. Jahrhundert (s.o.S. 148) dargestellt sind.

Das Instrument erlaubt sowohl ein gradgenaues Auftragen von Winkeln als auch das Messen vorhandener Winkel.

Unser Modell:
Messing, graviert.
Länge des drehbaren Zeigers: 62 cm, mit Aussparung für Skala (0°-50°).
(Inventar-Nr. D 1.16)

Detail aus *Šamāʾilnāma*, Hds. İstanbul, Universitäts-Bibliothek, T.Y. 1404, fol. 57a.

Zirkel

Das Modell zeigt die Nachbildung eines Exemplares, das sich im Museum für Islamische Kunst in Kairo befindet.

Detail aus *Šamāʾilnāma*, Hds. İstanbul, Universitäts-Bibliothek, T.Y. 1404, fol. 57a.

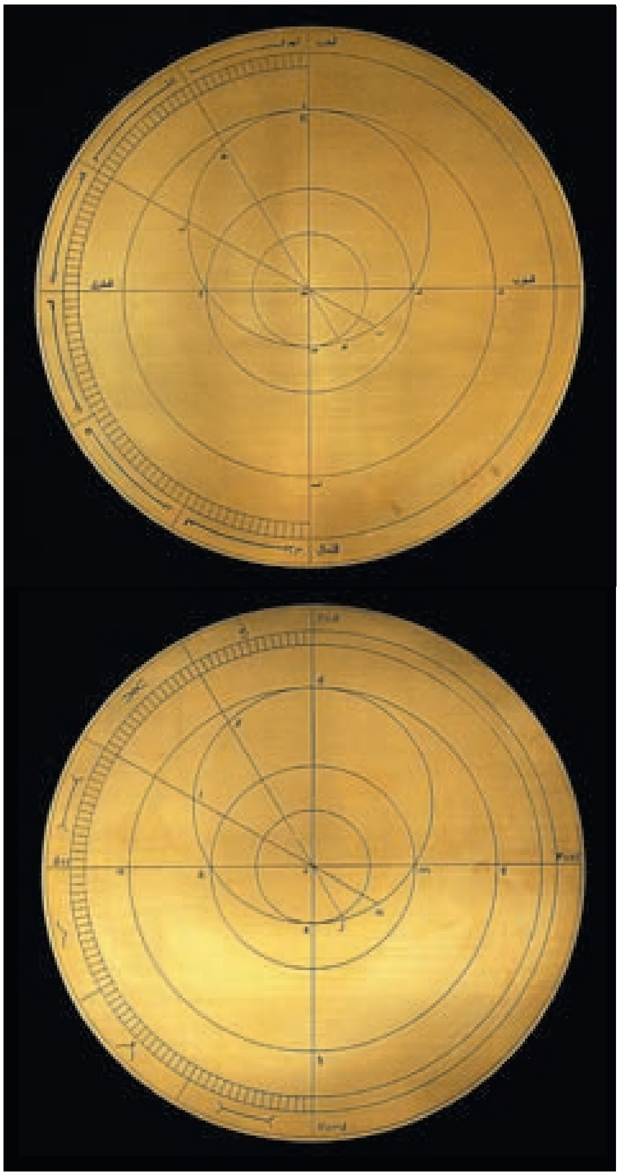
Unser Nachbau:
Messing.
Schenkel ineinanderdrehbar verarbeitet.
Ein Schenkel als Reißfeder.
Länge: 16 cm.
(Inventar-Nr. D 1.17)

Vorrichtungen
zur Teilung von Kreisen und Geraden

In seinem Buch mit dem Titel «Umfassende Behandlung der möglichen Methoden zur Herstellung von Astrolabien» (*Istīʿāb al-wuǧūh al-mumkina fī ṣanʿat al-asṭurlāb*) teilt uns al-Bīrūnī interessante Einzelheiten über Hilfsgeräte zur Herstellung von Astrolabien mit. Dazu gehört ein *dastūr ad-dawā'ir* (Vorrichtung für Kreise), «um Kreise in bestimmter Weise zu teilen, bzw. gegebene Bögen auf ihnen abzutragen». Das zweite Gerät heißt *dastūr al-aqṭār* oder *dastūr al-muqanṭarāt*. Es ist eine Schablone, «um Strecken verschiedener Länge in vorgelegter Weise nach ein und demselben Maßstab zu teilen». Ferner wird ein zusammenklappbares Doppellineal (*masṭar muṯannā*) beschrieben und ein Zirkel mit gekrümmten Spitzen erwähnt.[1]

❖ ❖ ❖

1. Vorrichtung
zur Teilung von Kreisen



Unsere Modelle:
Messing, geätzt. ∅: 30,4 cm.
(Inventar-Nr. D 1.32 u. 1.33)

Die Beschaffenheit dieses Gerätes beschreibt al-Bīrūnī folgendermaßen: «Es besteht aus einem Ring aus Messing, dessen Durchmesser gleich dem größten Scheibendurchmesser des Astrolabs ist. Die Teilung des Randes des Astrolabs geschieht, indem man diesen *dastūr* benützt. […] Man macht ihn auf der Drehbank (*ǧahr*) eben und so glatt wie möglich. Auf dem *dastūr* beruht die ganze Konstruktion oder Anwendung des Astrolabs. Man teilt seine Fläche in vier Teile und jeden Teil wieder in 90, so erhält man 360 Teile.» «Man kann dies aber erst dann ausführen, wenn man den Ring auf ein Brett befestigt und in seine Mitte eine erstarrende Substanz gebracht hat, die eine Verschiebung verhindert, damit seine breite Fläche eben und in ihrer Erstreckung vollkommen bleibt (wohl keine Unebenheiten zeigt). Jetzt kann

[1] Eilhard Wiedemann und Josef Frank, *Vorrichtungen zur Teilung von Kreisen und Geraden usw. nach Bîrûnî*, in: Zeitschrift für Instrumentenkunde (Berlin) 41/1921/225-236, bes. S. 235 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Band 34, Frankfurt 1998, S. 233-244, hier S. 243).

man den Mittelpunkt des *dastūr* finden und die übrigen Konstruktionen an ihm ausführen. An den Anfang der einzelnen Quadranten schreibt man Ost, West, Nord, Süd, die je einander gegenüberliegen. Dies dient nur dazu, um die weiteren Ausführungen zu erleichtern. Jeden Quadranten teilt man in drei Teile für die Tierkreiszeichen, die je 30° enthalten, dabei zieht man Querlinien auf dem Ring, die man aber nicht einritzt, ehe man nicht die Teilung genau entsprechend den Aszensionen der *sphæra recta* hergestellt hat.»[2]

Abb. bei al-Bīrūnī, *Istīʿāb.*

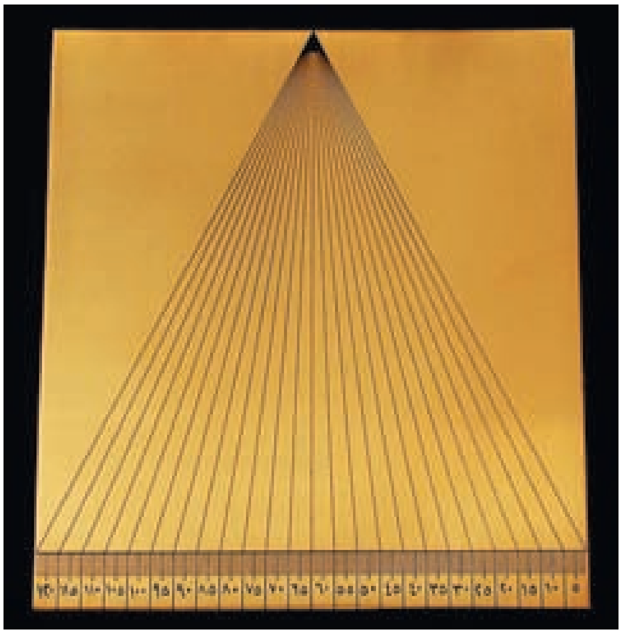
2. Vorrichtung

zur Teilung von Durchmessern

«Wir beschreiben jetzt den *dastūr* für die Durchmesser (*dastūr al-aqṭār*), dann wenden wir uns der Lösung unserer eigentlichen Aufgabe zu. Man nimmt eine viereckige Platte, die so fest ist, daß sie sich nicht biegt. Ihre Seite sei so groß, wie der größte bei der Konstruktion des Astrolabs vorkommende Durchmesser. Eine der Seiten teilt man in 120 Teile, es ist die Zahl, auf die man sich bei der Konstruktion des Sinus geeinigt hat. Die gegenüberliegende Seite halbiert man und ritzt zwischen dem Halbierungspunkt und jedem Teilstrich des Durchmessers eine deutlich sichtbare Linie ein …»

Abb. bei al-Bīrūnī, *Istīʿāb.*

«Die Verwendung dieses *dastūr* der Durchmesser, oder wie er später auch heißt, *dastūr* der *muqanṭara* (Höhenparallelenkreise) ergibt sich aus folgendem: Aus Tabellen für die Radien der Projektion der zum Äquator parallelen Kreise berechnen sich

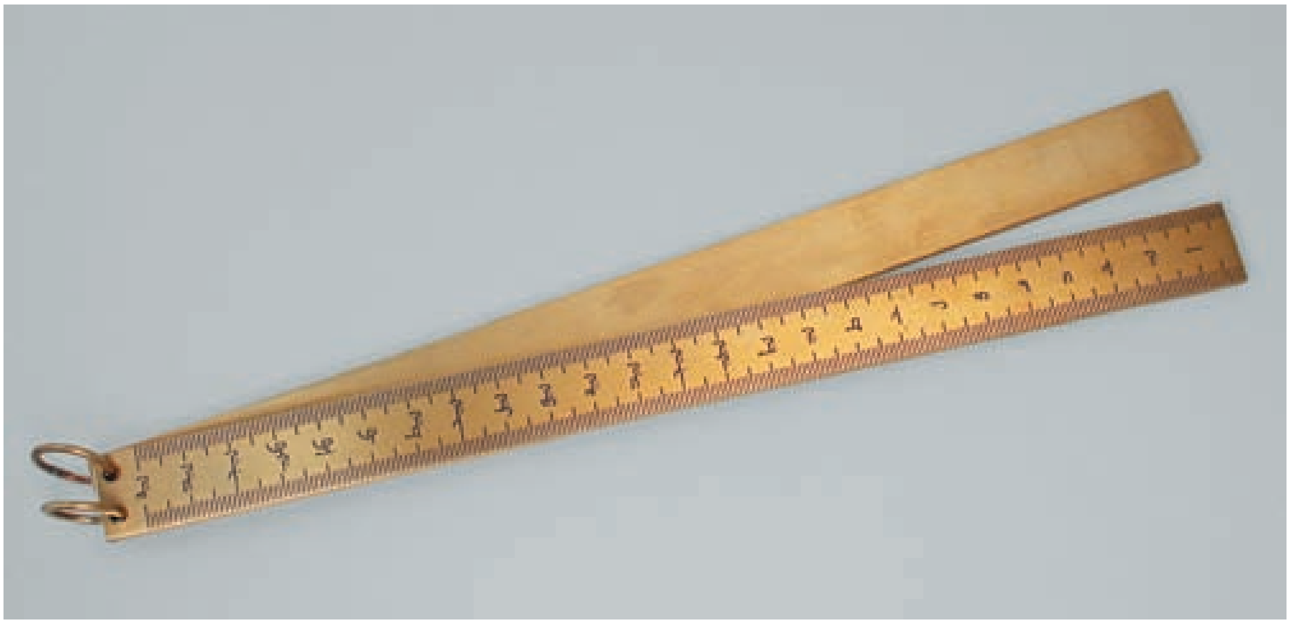


Unser Modell:
Messing, geätzt. Maße: 24 × 26 cm.
Skala mit Zahlen und Projektionslinien.
(Inventar-Nr. D 1.19)

in einfacher Weise die Radien der projizierten *muqanṭara* für verschiedene Erhebungen über dem Horizont, dabei ist der Durchmesser des projizierten Wendekreises des Steinbocks beim nördlichen Astrolab gleich 60 bzw. 120 Teile gesetzt; dieser ist zugleich der Randkreis der Scheibe.»[3]

[2] al-Bīrūnī, *Istīʿāb al-wuğūh al-mumkina fī ṣanʿat al-asṭurlāb*, Ms. Istanbul, Topkapı Sarayı, Ahmet III, 3505, fol. 137b; Übers. E. Wiedemann und J. Frank, a.a.O. S. 227 (Nachdruck S. 235).

[3] al-Bīrūnī, *Istīʿāb al-wuğūh al-mumkina*, a.a.O. fol. 138a; Übers. E. Wiedemann und J. Frank, a.a.O. S. 229 (Nachdruck S. 237).



3.

Zusammenlegbares

Doppellineal

Unser Modell:
Messing, geätzt. 2 Schenkel à: 26 × 1,5 cm.
Zentimeterkala mit je 25 Teilen.
Zwei Scharniere.
(Inventar-Nr. D 1.34)

Um zu erreichen, daß die auf beiden Seiten der Einlegescheiben eines Astrolabs gezogenen geraden Linien einander genau gegenüberliegen, machte man von einem zusammenklappbaren Lineal (*masṭar muṯannā*, pl. *masāṭir muṯannāt*) Gebrauch. Dies waren «zwei gleiche ebene Lineale, die sich so aufeinanderlegen lassen, daß ihre Flächen sich berühren und ihre Ränder aufeinanderliegen. An einem ihrer Enden verbindet man sie durch zwei Stifte. Bringt man eine ebene Fläche zwischen sie und legt ihren Rand auf den Mittelpunkt oder eine gerade Linie, verbindet ihre anderen Enden fest durch einen Ring oder einen Faden und zieht mit ihnen auf beiden Seiten der zwischen ihnen gelegten Scheibe Linien, so decken sich diese und unterscheiden sich nicht. Teilt man die obigen Scheiben mit diesem Doppellineal auf beiden Seiten in vier Teile, so kann man den zweiten Kreis auf der anderen Seite genau so mit Linien versehen wie denjenigen auf der ersten Seite, so daß sie sich genau decken.»[4]

[4] al-Bīrūnī, *Istīʿāb al-wuǧūh al-mumkina*, a.a.O. fol. 139b-140a; Übers. E. Wiedemann und J. Frank, a.a.O. S. 231 (Nachdruck S. 239).

4.
Zirkel
mit gekrümmten Spitzen

Unser Modell:
Messing, 21,5 cm.
(Inventar-Nr. D 1.26)

Um Kreise auf Kugelflächen ziehen zu können, benutzte man schon zu Lebzeiten al-Bīrūnī's (1. Hälfte 5./11. Jh.) einen Zirkel mit gekrümmten Spitzen.[5] Wie dieser Zirkel aussah, ist nicht überliefert, doch können wir uns aus der Kenntnis des «vollkommenen Zirkels» der gleichen Zeit eine Vorstellung von seiner Form machen.

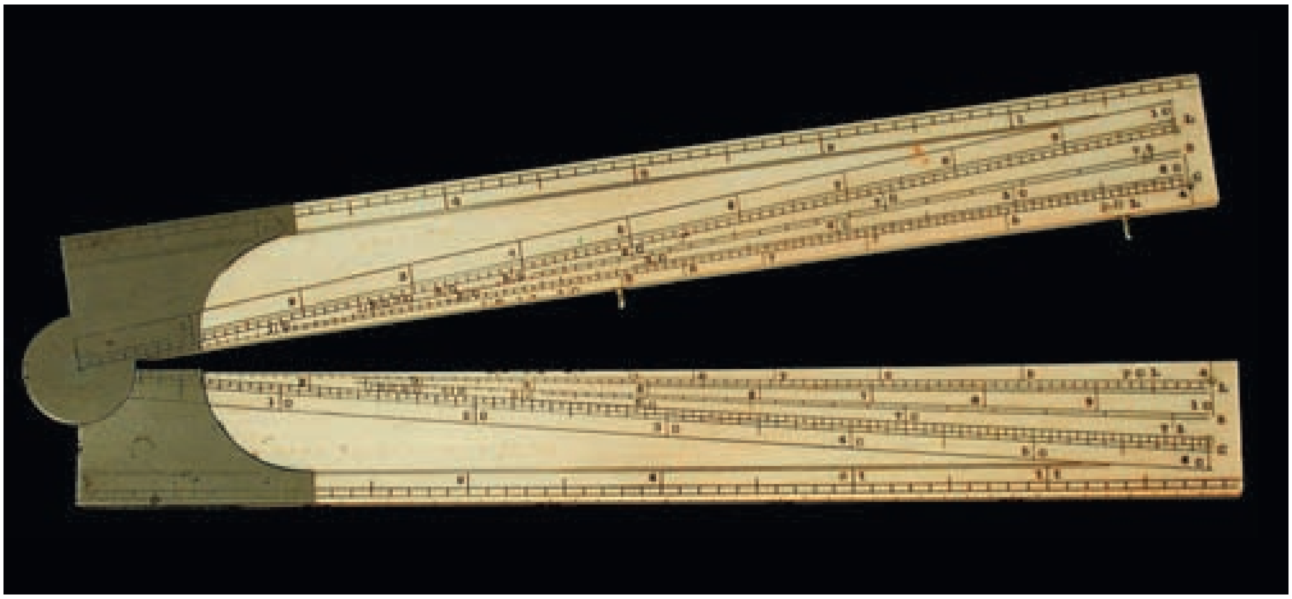
[5] s. E. Wiedemann und J. Frank, a.a.O. S. 235 (Nachdruck S. 243).

Stativ

Detail aus *Šamāʾilnāma*, Hds. İstanbul, Universitäts-Bibliothek, T.Y. 1404, fol. 57a.

Unser Modell gehört zu den Werkzeugen osmanischer Astronomen, wie sie auf der bekannten Miniatur aus dem 10./16. Jahrhundert (s.o. II, 34) dargestellt sind.

Hartholz. Schenkellänge 110 cm.
3 Schenkel, beweglich mit einer Stativplatte verbunden. Messinglot mittig an der Stativplatte befestigt. An einem Schenkel geätzte Messingskala. (Inventar-Nr. D 1.21)



Ein europäischer

Rechenstab

(sector)

Elfenbein?
Länge: 15 cm.
Scharnier aus Silber.
Zahlen graviert.
(Inventar-Nr. D 1.18)

(Herkunft und Alter unbekannt).

Vgl. «folding rule with altitude dial» von Humfrey Cole (1574): London, The Science Museum, No. 1984-742; (in: K. Lippincott, *The Story of Time*, London o.J., S. 121).

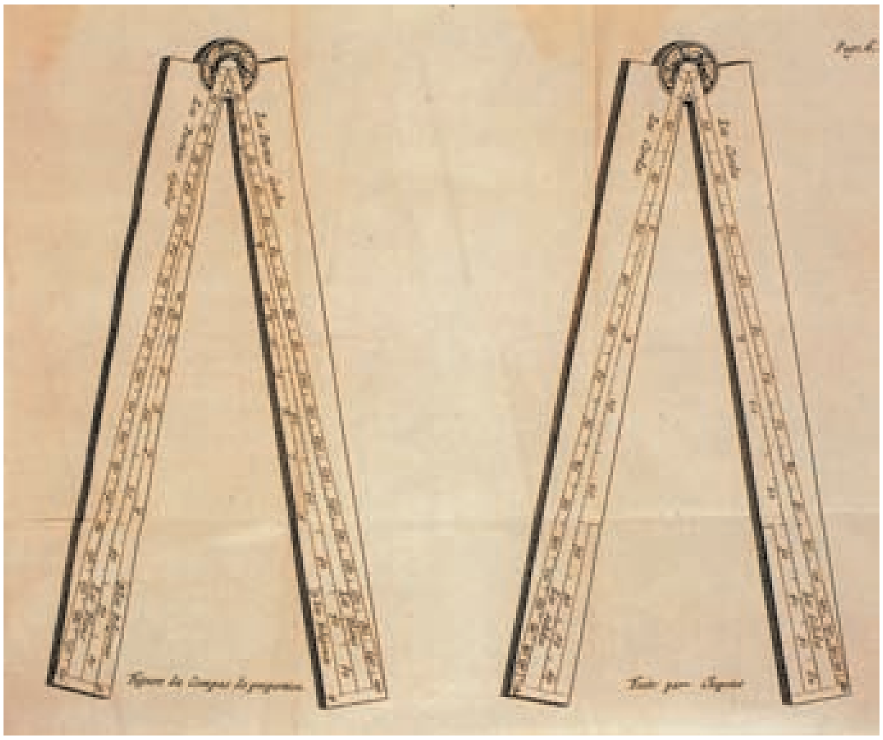
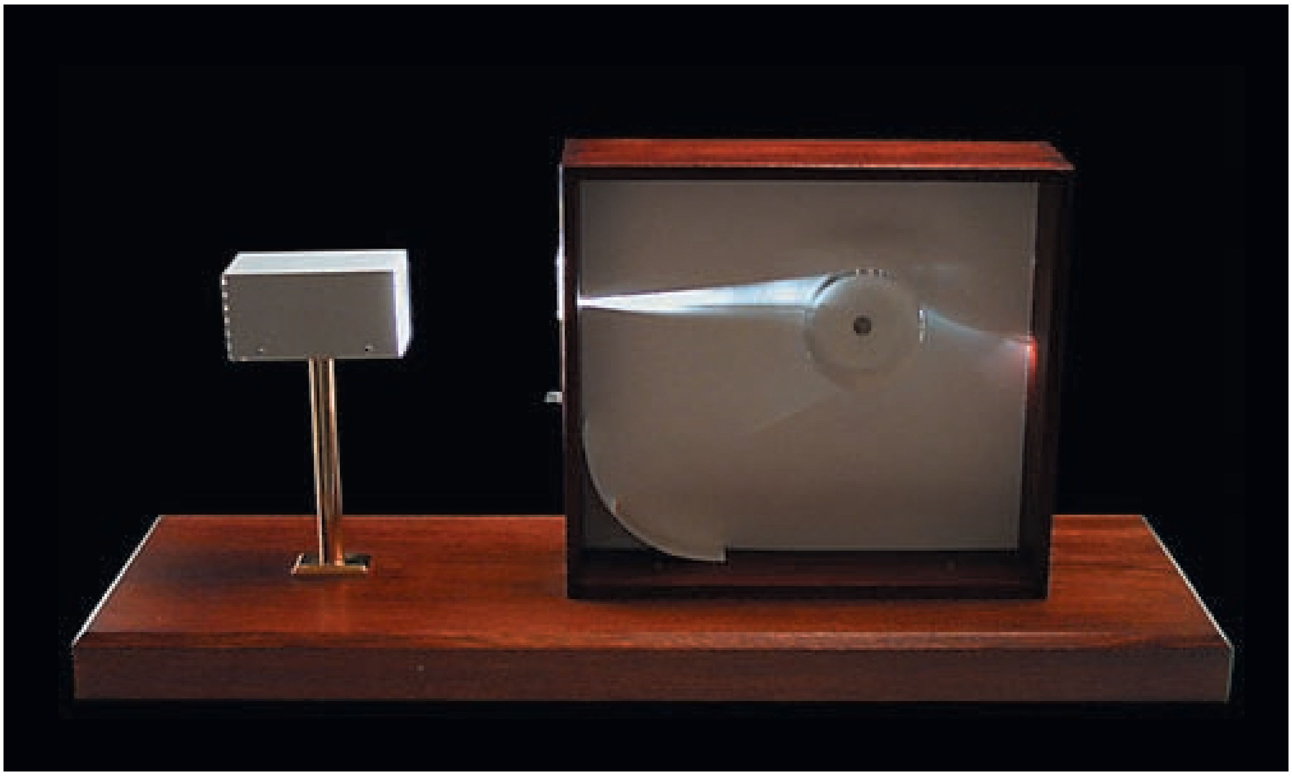


Abb.: «Escalas del sector de Gunter» in: *Instrumentos de navegación: Del Mediterráneo al Pacífico,* Barcelona o.J., S. 104.

Kapitel 6

Optik



Zur Theorie des Regenbogens

Unser Modell:
Hartholz, Länge: 74 cm.
Stahlgestell: 90 × 44 × 93 cm.
Medium zur Lichtbrechung aus Plexiglas.
Halogenlampe zur Demonstration.
(Inventar-Nr. E 2.02)

Soweit die Kenntnis des erhaltenen, genauer gesagt des erschlossenen Quellenmaterials ein Urteil erlaubt, war Abū ʿAlī Ibn Sīnā (der Avicenna der Lateiner, gest. 428/1037)[1] einer jener Aristoteliker, die begannen, sich in der Lehre vom Regenbogen[2] nicht unwesentlich von dem großen Meister zu entfernen[3]. Ibn Sīnā's Anschauung vom Regenbogen hat in der Folge weitgehenden Einfluß auf seine abendländischen Nachfolger ausgeübt.[4] Er sagt[5]: «Beim Regenbogen habe ich manche Zustände klar erkannt, während ich andere noch nicht endgültig erforscht habe. Was sonst über ihn gelehrt wurde, genügte mir nicht. Häufig habe ich festgestellt, daß dieser Bogen sich nicht auf dichten Wolken abzeichnet. Sehr wenig befriedigt mich, was die Peripatetiker, eine Schule, der ich angehöre, über ihn lehren. Zuerst will ich

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums* Bd. 6, S. 276-280, Bd. 7, S. 292-302.

[2] Zur Literatur über den Regenbogen s. G. Hellmann, *Meteorologische Optik 1000-1836*, Berlin 1902 (= Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus. No. 14).

[3] s. E. Wiedemann, *Theorie des Regenbogens von Ibn al Haiṯam* (= Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. 38), in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 46/1914 (1915)/39-56 (Nachdruck in: *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte*, Bd. 2, S. 69-86, und in: Natural Sciences in Islam, Bd. 33, Frankfurt 2001, S. 219-236).

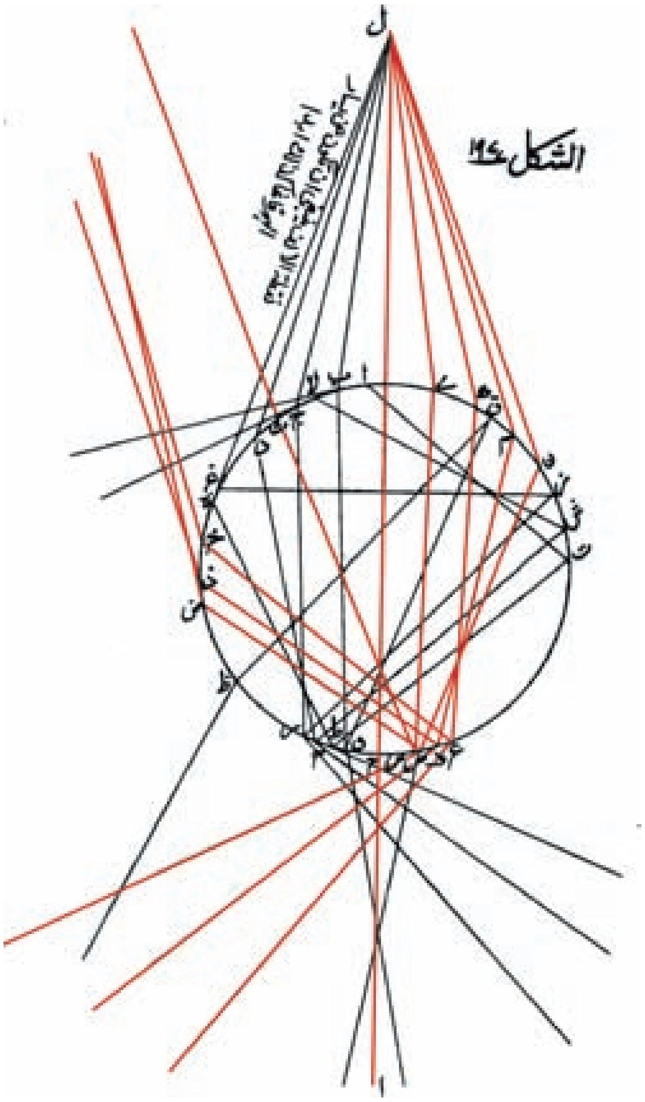
[4] M. Horten, *Avicennas Lehre vom Regenbogen nach seinem Werk al Schifâ. Mit Bemerkungen von E. Wiedemann*, in: Meteorologische Zeitschrift 30/1913/533-544, bes. S. 533 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften* Bd. 2, S. 733-744, bes. S. 733).

[5] *aš-Šifāʾ*, *aṭ-Ṭabīʿīyāt* 5: *al-Maʿādin wa-l-āṯār al-ʿulwīya*, ed. Ibrāhīm Madkūr, ʿAbdalḥalīm Muntaṣir, Saʿīd Zāyid, ʿAbdallāh Ismāʿīl, Kairo 1965, S. 50. Übers. M. Horten, a.a.O. S. 539 (Nachdruck S. 739).

den Regenbogen schildern, wie er sich dort zeigt, wo keine dichten Wolken sind, so wie ich es selbst beobachte. Dann setze ich auseinander, weshalb er nur aus einem Halbkreis oder weniger besteht. Zugleich zeige ich, weshalb der Regenbogen nicht zu allen Zeiten des Tages im Sommer auftritt, wohl aber im Winter. Über seine Farben bin ich mir noch selbst nicht im klaren. Ich kenne ihre Ursache nicht, noch befriedigt mich die Lehre anderer, die ganz irrig und töricht ist.»
Ibn Sīnā's Ausführungen über den Regenbogen, von denen M. Horten nur eine Auswahl übersetzt hat, lassen einen Naturphilosophen erkennen, der dieses optisch-meteorologische Phänomen mehrfach beobachtet und auch experimentell untersucht hat. Wenn er zum Schluß bekennt, er halte seine Erkenntnisse noch nicht für vertrauenswürdig genug, um sie in sein Buch aufzunehmen,[6] so ist daran «kulturhistorisch bedeutsam, daß der muslimische Gelehrte der Erscheinungswelt gegenüber sich vielfach in seinem Urteil bescheidet.»[7]
Zweierlei ist an Ibn Sīnā's Ausführungen beachtenswert. Zum einen, daß er «den Sitz des Regenbogens nicht in die Wolke selbst, sondern vor sie in den feinen Dunst verlegt,»[8] und zum anderen, daß er die Ansicht der Peripatetiker über die vom Auge zum Objekt ausgehenden Sehstrahlen verwirft und sich statt dessen den Physikern (*ṭabīʿīyūn*) anschließt, nach deren Auffassung der Sehvorgang durch vom Objekt ausgehende Lichtstrahlen erfolgt, die auf das Auge treffen.[9]
Unter den von Ibn Sīnā angesprochenen Physikern nahm zweifellos sein etwa 15 Jahre älterer Zeitgenosse al-Ḥasan b. al-Ḥasan Ibn al-Haiṯam (geb. ca. 354/965, gest. nach 432/1041)[10] einen hervorragenden Platz ein. Dieser, in Europa als Alhazen bekannte bedeutende Mathematiker, Astronom und Physiker, der als systematischer Experimentator mit einer neuen Optik hervortrat, entwickelte eine eigene meteorologisch-optische Erklärung für das Phänomen des Regenbogens in seinen Schriften über die kreisförmigen Brennspiegel[11] und über den Regenbogen und den Halo[12]. Zwar hat Ibn al-Haiṯam mit seiner Erklärung der Entstehung des Regenbogens durch Reflexion an einer konkaven sphärischen Wolke[13] nicht den wahren Sachverhalt erfaßt, doch legte er damit eine solide Basis für weitere Versuche, die dann nach ungefähr 250 Jahren zu einem revolutionären Durchbruch führten.
Es war Kamāladdīn Abu l-Ḥasan Muḥammad b. al-Ḥasan al-Fārisī (gest. 718/1318), ein vielseitiger Naturwissenschaftler, der die Erklärung der vorangegangenen Gelehrten für die Entstehung des Regenbogens durch einfache Reflexion des Lichtes am Wassertropfen für unrichtig erklärte.[14]
Nach seiner Auffassung beruht die optische Wahrnehmung des Regenbogens auf dem besonderen Wesen der durchsichtigen, kugelförmigen, einander nahe liegenden Tropfen. Sie entsteht durch zweimalige Brechung und eine oder zwei Reflexionen beim Ein- und Austritt des Sonnenlichtes in den und aus dem einzelnen Tropfen.
Dieses Ergebnis erzielte er auf Grund systematisch durchgeführter Experimente an einer Kugel aus Glas oder Bergkristall. Die Argumentation,

[6] Ebd. S. 55.
[7] M. Horten, *Avicennas Lehre vom Regenbogen,* a.a.O. S. 543-544 (Nachdruck S. 743-744).
[8] Ebd. S. 543 (Nachdruck S. 743).
[9] *aš-Šifāʾ*, a.a.O. S. 41; M. Horten, a.a.O. S. 533 (Nachdruck S. 733).
[10] s. F. Sezgin, a.a.O., Bd. 5, S. 358-374; Bd. 6, S. 251-261; Bd. 7, S. 288.
[11] *Maqāla fī l-marāya l-muḥriqa bi-d-dāʾira*, hrsg. in *Maǧmūʿ ar-rasāʾil … Ibn al-Haiṯam*, Haidarabad 1357/1938 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 75, Frankfurt 1998); vgl. Roshdi Rashed, *Géométrie et dioptrique au Xᵉ siècle. Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham*, Paris 1993, S. 111-132.
[12] *Maqāla fī qaus quzaḥ wa-l-hāla*, in der Bearbeitung von Kamāladdīn al-Fārisī im Anhang zu *Kitāb Tanqīḥ al-Manāẓir li-ḏawi l-abṣār wa-l-baṣāʾir*, Bd. 2, Haidarabad 1348/1929, S. 258-279.
[13] Er «hat in seiner Schrift über den sphärischen Hohlspiegel gezeigt, daß, wenn von einem leuchtenden Punkt b, der sehr weit entfernt ist, Strahlen ausgehen und diese durch Reflexion an einem sphärischen Hohlspiegel zu einem auf der Achse gelegenen Punkt a gelangen, dies nur bei der Reflexion an einem zur Achse konzentrischen Kreise der Fall ist. Hat der leuchtende Körper eine gewisse Ausdehnung, so muß an Stelle des Kreises ein mehr oder weniger breiter Kreisring treten. Die Wolke stellt nun einen solchen Hohlspiegel dar und der Kreisring entspricht dem Regenbogen. Die Farben werden wie üblich aus einer Mischung von Licht und Schatten erklärt» (E. Wiedemann, *Theorie des Regenbogens von Ibn al Haiṯam*, a.a.O. S. 40, Nachdruck S. 70).
[14] *Tanqīḥ al-Manāẓir*, a.a.O. Bd. 2, S. 283-284.

die Experimentierweise und die Schlußfolgerungen von Kamāladdīn und ihre Bedeutung für die Geschichte der meteorologischen Optik haben Eilhard Wiedemann und, auf seine Anregung hin, Joseph Würschmidt mehrmaliger Untersuchung unterzogen.[15]



Kamāladdīn al-Fārisī, *Tanqīḥ*, Haidarabad, Bd. 2, Abb. 192.

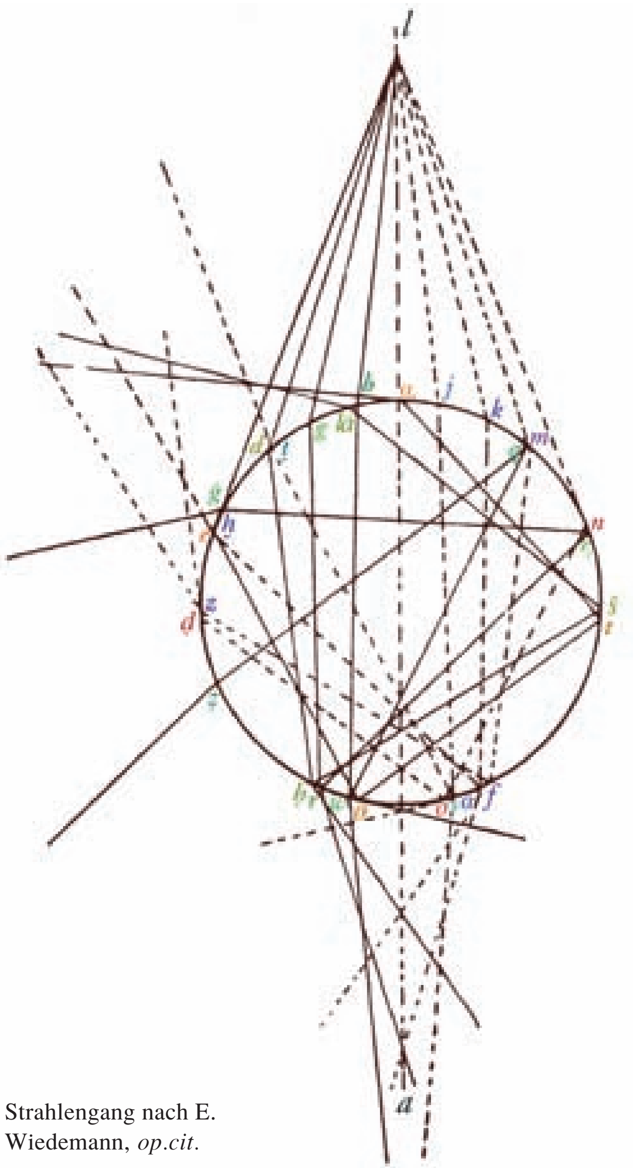
Anhand der nebenstehenden Figur (mit schwarzen und roten Linien in der Handschrift) beschreibt Kamāladdīn den Vorgang folgendermaßen: «Wir zeichnen nun entsprechend unseren Ausführungen eine Figur, durch die das Verständnis erleichtert wird. Wir zeichnen wie früher den Kreis und den Brennkegel. Vom Mittelpunkt *l* [ل] des Auges ziehen wir die Achse *la*. Ferner zeichnen wir eine Linie zwischen der Achse und dem Randstrahl des mittleren Kegels, diesen Randstrahl selbst, den Randstrahl des äußeren Hohlraumes und eine Linie zwischen ihm und dem Innern. Diese Linien und die aus ihnen entstehenden zeichnen wir auf der rechten Seite [des Auges des Experimentators, das sich in ل befindet] schwarz und auf der linken Seite rot. Für die Strahlen der linken Seite ziehen wir dann die gebrochenen Sehnen, die aus ihnen entstehenden reflektierten und die aus diesen entstehenden in die Luft gebrochenen; sie bilden die einmal reflektierten und gebrochenen Strahlen.
Für die Strahlen der rechten Seite zeichnen wir die gebrochenen Sehnen, die daraus entstehenden reflektierten, die noch einmal reflektierten und die in die Luft gebrochenen. Es sind die zweimal reflektierten und gebrochenen Strahlen.»
«Die rechten Strahlen des geraden Fortschreitens des Kegels sind *lb, lg, ld, le*; die linken Strahlen sind *lj, lk, lm, ln*. Die rechten werden abgelenkt nach den Sehnen *bw, gr, dḥ, eϑ*, die linken nach den Sehnen *js, kα, mf, nσ*. Alle werden in die Luft abgelenkt, so daß aus ihren Sehnen der Brennkegel entsteht. Dann werden die Sehnen in der Kugel selbst zu anderen Punkten reflektiert und zwar die rechten nach den Punkten *q*, r_1, *š, t* und die linken nach den Punkten *ṯ, ḫ, z, ḏ*. Die Strahlen der beiden Scharen werden in die Luft gebrochen, derart, daß aus ihren Sehnen der gebrochene Kegel mit

[15] E. Wiedemann, *Über die Brechung des Lichtes in Kugeln nach Ibn al Haiṯam und Kamâl al Dîn al Fârisî*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 42/1910/15-58 (Nachdruck in: *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte*, Bd. 1, S. 597-640, und in: Natural Sciences in Islam, Bd. 34, Frankfurt 2001, S. 213-256); ders., *Über das Sehen durch eine Kugel bei den Arabern*, in: Annalen der Physik und Chemie (Leipzig) N.F. 39/1890/565-576 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften*, Bd. 1, S. 47-58 und in: Natural Sciences in Islam, Bd. 34, Frankfurt 2001, S. 195-206); ders., *Zur Optik von Kamâl al Dîn*, in: Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik (Leipzig) 3/1911-12/161-177 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften*, Bd. 1, S. 596-612 und in: Natural Sciences in Islam, Bd. 34, Frankfurt 2001, S. 263-279); Joseph Würschmidt, *Über die Brennkugel*, in: Monatshefte für den naturwissenschaftlichen Unterricht aller Schulgattungen (Leipzig und Berlin) 4/1911/98-113 (Nachdruck in: Natural Sciences in Islam, Bd. 34, Frankfurt 2001, S. 280-295); ders., *Dietrich von Freiberg*: *Über den Regenbogen und die durch Strahlen erzeugten Eindrücke*, Münster 1914.

einer Reflexion nach der Seite des Auges entsteht, und die Lagen der Strahlen sind in ihm verschieden [als zuvor], aus den rechtsgelegenen entstehen linksgelegene und umgekehrt. Die in der Figur hiervon gezeichneten sind die rechts vom Auge gelegenen.»

«Die Sehnen *wq*, rr_1, *ḥš, ϑt*, d.h. die rechten Strahlen nach einmaliger Brechung in der Kugel und einer ersten Reflexion von rechts nach links werden ein zweitesmal nach den Punkten *ẓ, ġ, lâ*, α_1 reflektiert, dann werden sie in die Luft gebrochen in solcher Gestalt, daß aus ihren Sehnen der abgelenkte Kegel mit zwei Reflexionen entsteht; er liegt auf der dem Auge entgegengesetzten Seite. Gezeichnet sind nur die rechtsgelegenen, entsprechend den rechten Strahlen.»[16]

Es folgt die Schilderung seiner Beobachtungen beim Experimentieren mit einmaliger Brechung und Reflexion (*iʿtibār al-munʿaṭif bi-nʿikās*) und mit zweimaliger Brechung und Reflexion (*bi-nʿikāsain*).[17] J. Würschmidt, der im Jahre 1911 diese Ausführungen an Hand der Übersetzung von Wiedemann studiert hat, bemerkt da-zu: «Die theoretischen Ausführungen dieses Kapitels sind sehr ausführlich und stellenweise schwer verständlich, doch geht aus der ganzen Darstellung hervor, daß er für beide Fälle, die einmalige und die zweimalige Reflexion, die Bedeutung der Umkehrstrahlen klar erkannt hat. Was seine Beobachtungen betrifft, so ist vor allem ein Versuch[18] besonders hervorzuheben, da er vollständig mit dem von Goethe und Boisserée[19] 500 Jahre später ausgeführten identisch ist. Er findet nämlich bei der (ein- oder zweimaligen) Reflexion das Auftreten der zwei Bilder; bei passender Stellung des Auges sieht man zunächst ein Bild; bewegt man das Auge gegen den diesem Bilde zunächst gelegenen



Strahlengang nach E. Wiedemann, *op.cit.*

Rand der Kugel, so erscheint vom Rande her das zweite Bild. Beide Bilder sind nach außen rot gefärbt (infolge der Dispersion zeigen sie die Spektralfarben), dann rücken sie immer näher und vereinigen sich zu einem Bild; dieses ist gelb gefärbt (die blauen und violetten Teile beider Spektra sind schon verschwunden). Dann verschwindet das Gelb und es bleibt ein rotes Bild übrig, bis auch dieses verschwindet.»

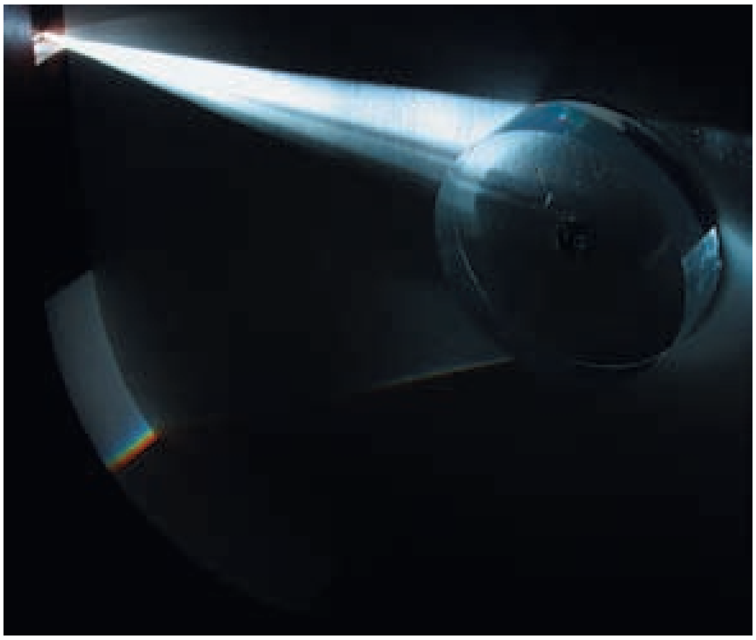
«Auch die direkte Beobachtung des durch einmalige Reflexion entstehenden Regenbogens demonstriert der arabische Gelehrte in eleganter Weise. Er blendet nämlich die eine Hälfte der Kugel durch eine zwischen sie und die Lichtquelle gebrachte lichtundurchlässige weiße Fläche ab; dann sieht man auf dieser den durch die Strahlen, die

[16] Kamāladdīn al-Fārisī, *Tanqīḥ al-Manāẓir*, a.a.O. Bd. 2, S. 316-317; Übers. E. Wiedemann, *Über die Brechung des Lichtes*, a.a.O. S. 53-54 (Nachdruck S. 635-636 bzw. S. 251-252).

[17] Kamāladdīn, *Tanqīḥ al-Manāẓir*, a.a.O. Bd. 2, S. 317-319; Übers. E. Wiedemann, *Über die Brechung des Lichtes*, a.a.O. S. 54-56 (Nachdruck S. 636-638 bzw. S. 252-254).

[18] Zu dem Versuch s. Kamāladdīn, *Tanqīḥ al-Manāẓir*, a.a.O. Bd. 2, S. 318-319; Übers. E. Wiedemann, *Über die Brechung des Lichtes*, a.a.O. S. 55 (Nachdruck S. 637 bzw. S. 253).

[19] Zur Beobachtung J.W. von Gœthe's und Sulpiz Boisserée's s. J. Würschmidt, *Über die Brennkugel*, a.a.O. S. 100-101 (Nachdruck S. 282-283).



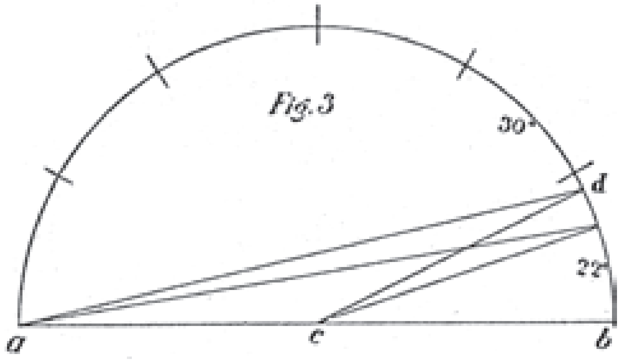
auf die andere Kugelhälfte treffen, entstehenden Regenbogen, der um so kleiner und heller wird, je näher man die weiße Fläche der Kugel bringt.»[20]
Kamāladdīn hat sich eingehend mit dem Verhältnis der Einfallswinkel der Strahlen in die Kugel (und analog in den Wassertropfen) zu den Brechungswinkeln befaßt und eine Brechungstabelle aufgestellt. Doch begnügte er sich damit, die Werte in Intervallen von 5° aufzuzeichnen, und fügte hinzu, man könne genauere Resultate erzielen, wenn man Grad für Grad fortschreite. Zur maximalen und minimalen Grenze des Einfallswinkels zur Entstehung eines Regenbogens hat er sich nicht ausdrücklich geäußert, scheint sie jedoch bei 40° bzw. 50° angenommen zu haben.[21] In deutlicher Form erscheinen die Zahlen 41° bis 42° als Untergrenze und 51° oder 52° als Obergrenze bei René Descartes[22] (gegenüber den heutigen Werten 42° und 52°). Abgesehen davon ist die Behandlung des Regenbogens bei Kamāladdīn der von Descartes «im theoretischen Ansatz» überlegen.[23] Zu seinen wichtigen Resultaten gehört, daß «eine Kugel aus Bergkristall, die man der Sonne gegenüber aufstellt, auf der der Sonne entgegengesetzten Seite ein Brennen erzeugt und zwar in einer Entfernung von der Kugel, die kleiner als ¼ ihres Durchmessers ist»[24]. Außerdem entdeckte er «die Reflexion an der Vorderseite der Linse des Auges, die erst 1823 Evangelista Purkynje wiederfand»[25].
Zum Schluß sei noch das Verhältnis der Schrift Dietrich von Freibergs (Theodoricus Teutonicus), *De iride et radialibus impressionibus*, zu dem Werk von Kamāladdīn angesprochen. Bei Dietrich von Freiberg handelt es sich um einen Dominikaner-Mönch, über dessen Leben wenig bekannt ist. Die Vermutung kann zutreffen, daß er ein Zeitgenosse von Kamāladdīn al-Fārisī war und seine Schrift in der ersten Dekade des 14. Jahrhunderts verfaßt hat. Wegen der in dieser Schrift erscheinenden völlig neuen Erklärungen hinsichtlich der Entstehung des Regenbogens bezeichnete G. Hellmann[26] sie im Jahre 1902 als «die größte derartige Leistung des Abendlandes im Mittelalter». Gemeint war die Entstehung des Regenbogens als Folge zweimaliger Brechung und einmaliger bzw. zweimaliger Reflexion des Lichtes im Wassertropfen. Dank der Übersetzung und Studie des Textes von Kamāladdīn durch E. Wiedemann wurde in der ersten Dekade des 20. Jahrhunderts bekannt, daß die in der Schrift Dietrichs überraschenden Erklärungen in vollkommener Weise im Buch dieses seines Zeitgenossen aus dem arabisch-islamischen Kulturkreis zu finden sind. Mit der Frage nach einer möglichen Beziehung zwischen den beiden Büchern hat sich, angeregt von E. Wiedemann, J. Würschmidt auseinandergesetzt[27]: «Kamâl al Dîn hat vor allem eine Reihe von Fehlern, die sich bei Dietrich und ebenso bei früheren arabischen Ge-

[20] J. Würschmidt, *Über die Brennkugel*, a.a.O. S. 112-113 (Nachdruck S. 294-95).
[21] s. *Tanqīḥ al-Manāẓir*, a.a.O. Bd. 2, S. 296-299; Übers. E. Wiedemann, *Über die Brechung des Lichtes*, a.a.O. S. 31-36 (Nachdruck S. 613-618 bzw. S. 229-234); J. Würschmidt, *Über die Brennkugel*, a.a.O. S. 102-103 (Nachdruck S. 284-285).
[22] s. G. Hellmann, *Meteorologische Optik*, a.a.O. S. 17-30.
[23] Matthias Schramm, *Ibn al-Haythams Stellung in der Geschichte der Wissenschaften*, in: Fikrun wa Fann 6/1965/2-22, bes. S. 21; vgl. J. Würschmidt, *Über die Brennkugel*, a.a.O. S. 102 (Nachdruck S. 284).
[24] J. Würschmidt, a.a.O. S. 104 (Nachdruck S. 286).
[25] M. Schramm, *Ibn al-Haythams Stellung*, a.a.O. S. 21.
[26] *Meteorologische Optik*, a.a.O. S. 8.
[27] *Dietrich von Freiberg*, a.a.O. S. 1-4.

lehrten finden, vermieden und im besonderen das Wesen des für die später von Descartes aufgestellte Regenbogentheorie so wichtigen ‹Umkehrstrahles› klar erkannt …»

«Wir haben somit zwei gleichzeitige, voneinander unabhängige große Werke, die sich mit der Frage nach der Entstehung des Regenbogens beschäftigen, die beide auf gemeinsame Quellen zurückgehen, aber eine verschiedene Weiterführung der aus diesen geschöpften Anregungen enthalten. In beiden Werken werden die theoretischen Betrachtungen durch Experimente gestützt; Dietrich stellt das Experiment sogar höher als philosophische Gründe seines Meisters Aristoteles mit der Begründung: ‹Derselbe Aristoteles hat uns auch gelehrt, daß man von dem, was experimentell feststeht, nicht ablassen darf.› Gerade dieser Satz verdient meiner Meinung nach besonders hervorgehoben zu werden; denn wir dürfen in dieser hohen Einschätzung des Experimentes ein von den Arabern übernommenes Erbe erblicken, von den Arabern, die, wie besonders Kamâl al Dîn, eine so hochentwickelte Kunst des Experimentierens aufwiesen, daß diese heute noch vorbildlich sein kann.»[28]

Würschmidt verweist auf Spuren arabischer Vorgänger wie Ibn al-Haiṯam, Ibn Sīnā oder Ibn Rušd in Dietrichs Werk und folgert: «Wir sehen hieraus, daß Dietrich wohl nicht nur aus der Optik des Alhacen, sondern auch aus anderen arabischen Quellen geschöpft hat; er ging jedoch in vielen Punkten über das von den früheren Geleistete hinaus, indem er vor allem, unabhängig von Kamâl al Dîn, erkannte, daß in den Wassertröpfchen zweimalige Brechung und einmalige Reflexion der Sonnenstrahlen eintritt, und diese Tatsache zur Grundlage seiner Theorie machte. Hat er damit auch nicht soviel erreicht, wie Kamâl al Dîn mit seiner Erkenntnis des Umkehrstrahles, so müssen wir doch die Durchführung seines Grundgedankens, soweit sie ihm ohne die Kenntnis des Brechungsgesetztes eben möglich war, bewundernd anerkennen. Jahrhundertelang nach ihm ist es nicht gelungen, eine wesentlich bessere Erklärung zu geben; erst der neuesten Zeit blieb es vorbehalten, eine vollständige Lösung des Problems auf Grund der Theorie der Beugung zu geben.»[29]



Zeichnung aus E. Krebs, *Meister Dietrich*, Texte, S. 32

Würschmidts Erklärung war zu seiner Zeit, da die Art und Weise des Rezeptions- und Assimilationsprozesses der arabisch-islamischen Wissenschaften im Abendland noch weniger geklärt war als heute, vielleicht die einzig mögliche. Zwar sind wir auch heute nicht wesentlich weiter, doch kennen wir inzwischen genügend Beispiele für ein erstaunlich schnelles Bekanntwerden von Errungenschaften oder Entdeckungen sowie von Büchern oder auch Landkarten und von wissenschaftlich-technischem Instrumentarium aus dem arabisch-islamischen Bereich im Westen. Kamāladdīn und Dietrich lebten zu einer Zeit, in der von Persien unter den Ilkhanen rege menschliche Kontakte ausgingen. Der westliche Weg führte von Tabrīz und Marāġa über Trapezunt und Konstantinopel nach Italien und Osteuropa. Vermittler der Neuigkeiten waren öfter Geistliche, aber nicht selten auch Reisende oder Gesandte.

Eine Beobachtung Würschmidts sollten wir nicht unberücksichtigt lassen. Er findet vor allem eine Figur interessant, weil darin bei Kamāladdīn, wie auch bei Dietrich, unrichtigerweise «die Sonne im Endlichen, ja in gleicher Entfernung vom Regenbogen bzw. von dem ihn hier ersetzenden Spiegel sich befindet wie das Auge des Beobachters»[30]. Doch schauen wir auf eine weitere Figur bei Diet-

[28] J. Würschmitt, *Dietrich von Freiberg*, a.a.O. S. 2.
[29] Ebd. S. 4.
[30] Ebd. S. 3.

rich, auf die Engelbert Krebs[31] aufmerksam gemacht hat, so begeht er bei ihrer Erklärung «den unglaublichen Fehler, den Bogenraum: Sonne *a* Irisscheitel *d* stets gleich 158° statt gleich 138° zu setzen, was zur Folge hat, daß er den Irisradius auf 22° statt auf 42° berechnet [...]. Daß die Ziffern 158° und 22° statt 138° und 42° nicht ein Schreibfehler der Handschriften sind ..., ergibt sich aus Kapitel 8 des III. Teiles, wo er den Durchmesser der Höfe gleich 22° [also den Radius gleich 11°] setzt und dann bemerkt, daß der Hofdurchmesser halb so groß als der Irisdurchmesser sei, was mit seinen falschen Ziffern stimmt, während in Wirklichkeit das Radialverhältnis Iris : Hof = 4 : 1 ist. Eine Erklärung für diese falschen Ziffern kann nur damit begründet werden, daß Dietrich selbst, dem es nur auf die spekulative Begründung, nicht auf die allgemein bekannte Messung ankam, die allbekannte Ziffer 138° falsch abschrieb und auf dieser Grundlage seine Berechnungen machte, die alle auf diese Ziffer zurückzuführen sind.»[32]

Würschmidts Schlußfolgerung, daß Dietrich das Werk von Kamāladdīn nicht gekannt haben kann, da sich in diesem «eine Reihe von Fehlern» nicht findet, die in Dietrichs Schrift auftreten, läßt sich m.E. nicht aufrechterhalten. Der Sachverhalt kann dadurch erklärt werden, daß Dietrich den Inhalt des Werkes von Kamāladdīn nicht vollständig verstanden oder nicht unmittelbar gekannt hat.

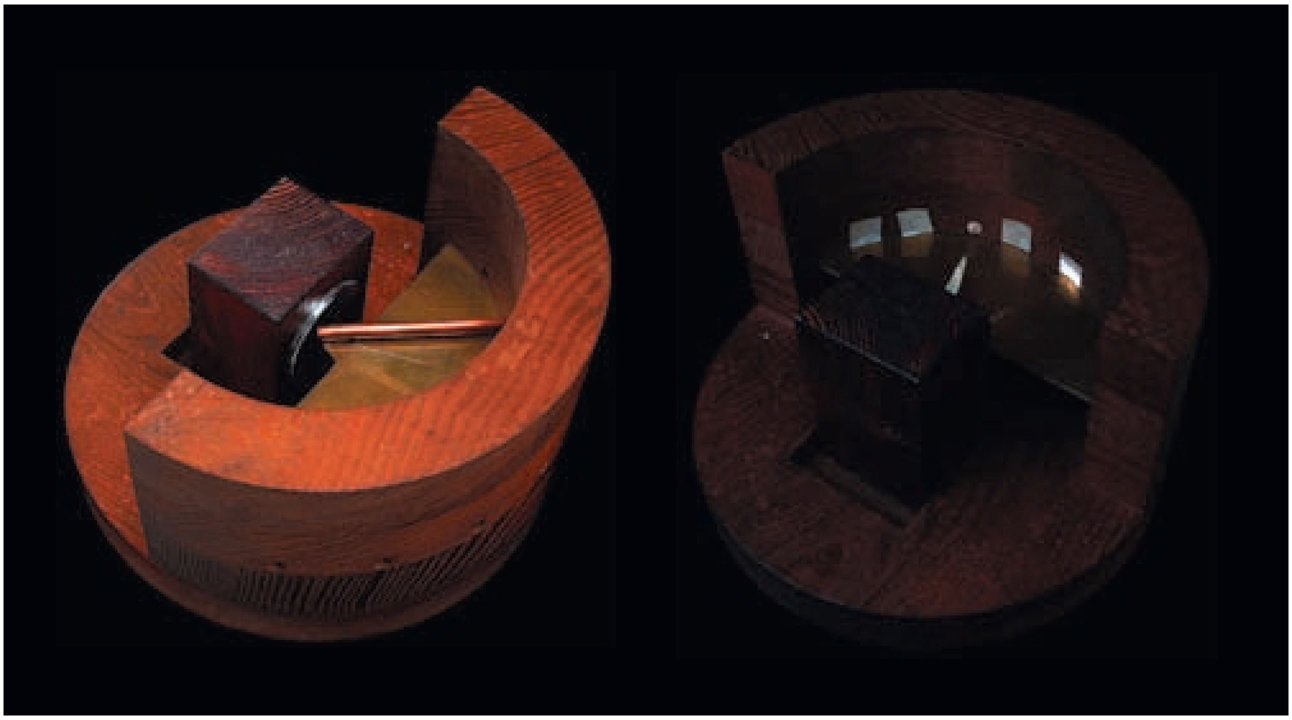
In diesem Zusammenhang scheint mir einer der spezifischen Fehler von Dietrich aufschlußreich zu sein. In seiner Hauptfigur zur Darstellung der fünf Farbenstrahlen läßt er diese irrtümlich parallel aus dem einzelnen Wassertröpfchen austreten, während er sonst ganz richtig «die Farben im Auge *c* durch die Strahlen verschiedener Tröpfchen entstehen läßt, indem von jedem Tröpfchen nur eine Farbe das Auge trifft»[33] – wie bei Kamāladdīn.

Zieht man die Tatsache in Betracht, daß keiner der Zeitgenossen von Dietrich von Freiberg, die sich mit der Frage der Entstehung des Regenbogens befaßt haben, wie Roger Bacon oder Witelo, oder, nach diesen, Francesco Maurolico (gest. 1575) bis hin zu René Descartes (gest. 1650) über die Ergebnisse von Ibn al-Haiṯam in dieser Frage einen nennenswerten Schritt hinausgekommen ist, wenn man ferner die groben Fehler und das Fehlen einer «mathematischen Durchdringung des Stoffes»[34] bei Dietrich im Auge behält und mit der Art und Weise der Übernahme arabisch-islamischer Wissenschaften zu jener Zeit genügend vertraut ist, so kommt man unschwer zu der Annahme, das Werk von Kamāladdīn al-Fārisī sei schon wenige Jahre nach seinem Erscheinen in Europa, wenn auch nur bei einem Einzelnen, so doch auf fruchtbaren Boden gefallen.

Es ist höchst aufschlußreich, daß Otto Werner[35] in seiner Studie über die Physik Leonardo da Vincis vom Jahre 1910 zu der Vermutung kam, Kamāladdīns Werk müsse im Abendland bekannt gewesen und von Leonardo benutzt worden sein. Er war überrascht zu sehen, «wie genau eine Abbildung im Codex Atlanticus [des Werkes von Leonardo] auf fol. 238r-b ... sich an die von Kamâl al Dîn al Fârisî anschließt». Für eine Bekanntschaft Europas mit Kamāladdīns Buch sprächen nach seiner Meinung auch «die nahen Beziehungen, die zwischen dem Regenbogentheorem von Theodosius Saxonicus und von Kamâl al Dîn al-Fârisî bestehen».

Unser Modell dient der Veranschaulichung des theoretischen Ansatzes, mit welchem Kamāladdīn al-Fārisī das Phänomen Regenbogen entwickelt; ein einzelner Tropfen, abstrahiert zu einer runden Scheibe mit höherem Brechungsindex als das Medium (Glas oder Bergkristall bei Kamāladdīn) erlaubt die Demonstration der durch zweifache Brechung und ein bis zwei Reflexionen beim Ein- und Austritt des Lichtstrahls in den und aus dem einzelnen Tropfen resultierenden Strahlengänge (s.o.), wie sie in der Figur aus dem *Tanqīḥ al-Manāẓir* (s.o.) dargestellt sind.

[31] *Meister Dietrich (Theodoricus Teutonicus de Vriberg). Sein Leben, seine Werke, seine Wissenschaft*, Münster 1906, S. 32*-33*.
[32] Ebd. S. 2.
[33] E. Krebs, *Meister Dietrich*, a.a.O. S. 34*.
[34] M. Schramm, *Ibn al-Haythams Stellung*, a.a.O. S. 21.
[35] *Zur Physik Leonardo da Vincis*, a.a.O. S. 111.

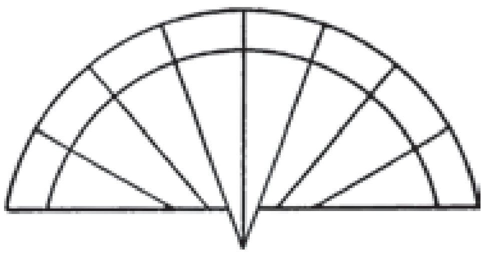


Apparat
zur Beobachtung der Reflexion des Lichtes

Unser Modell:
Hartholz, gebeizt.
Durchmesser des Halbzylinders: 28cm.
7 verschiedene Spiegel in Vorrichtung einsetzbar.
(Inventar-Nr. E 2.06)

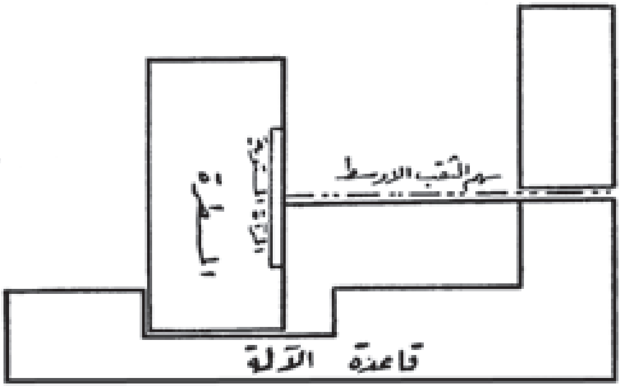
Im vierten Traktat (*maqāla*) seines großen Buches der Optik (*Kitāb al-Manāẓir*) geht Ibn al-Haiṯam (gest. nach 432/1041) sehr ausführlich auf die Lehre von der Reflexion des Lichtes ein. Anschließend gibt er eine mustergültige Beschreibung seines «Reflexionsgerätes» (*ālat al-in'ikās*) und dessen Verwendung. Die Aufgabe des Apparates besteht darin, das Reflexionsgesetz zu veranschaulichen, welches besagt, daß der Winkel der einfallenden Strahlen gleich dem Winkel der zurückgeworfenen Strahlen ist. Außerdem dient es dazu zu zeigen, daß dieses Gesetz auch für Reflexionen in zylindrischen, konischen und sphärischen Spiegeln und bei farbigen Lichtstrahlen gilt. In den uns erhaltenen Handschriften des *Kitāb al-Manāẓir* fehlen die Abbildungen. Hierüber beklagte sich bereits der Kommentator Kamāladdīn al-Fārisī und erklärt, er habe diesen Mangel in seinem Kommentar durch eigene Abbildungen (die im Folgenden wiedergegeben werden) behoben.[1]

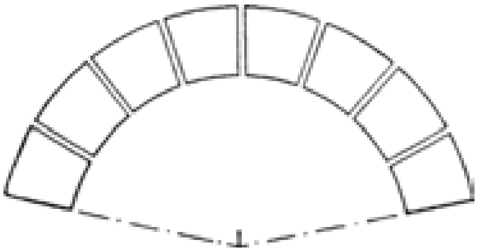
Auch für dieses Instrument verdanken wir Muṣṭafā Naẓīf[2] eine ausgezeichnete Beschreibung und die nötigen Abbildungen. Es besteht nach Ibn al-Haiṯam aus zwei Hauptbestandteilen und einer Reihe von sekundären Teilen. Einer der Grundbestandteile ist eine halbrunde Messingplatte, deren ursprüngliche Form einem Halbkreis mit einem Durchmesser von ca. 10 cm entspricht. Davon bleibt, wie auf der Skizze dargestellt, nur die Spitze stehen.



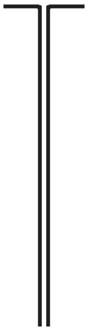
Zum Rande hin werden beidseitig 2 cm breite Segmente entfernt. Die Spitze des übriggebliebenen Dreiecks entspricht dem Mittelpunkt des die Messingplatte bestimmenden Kreises.

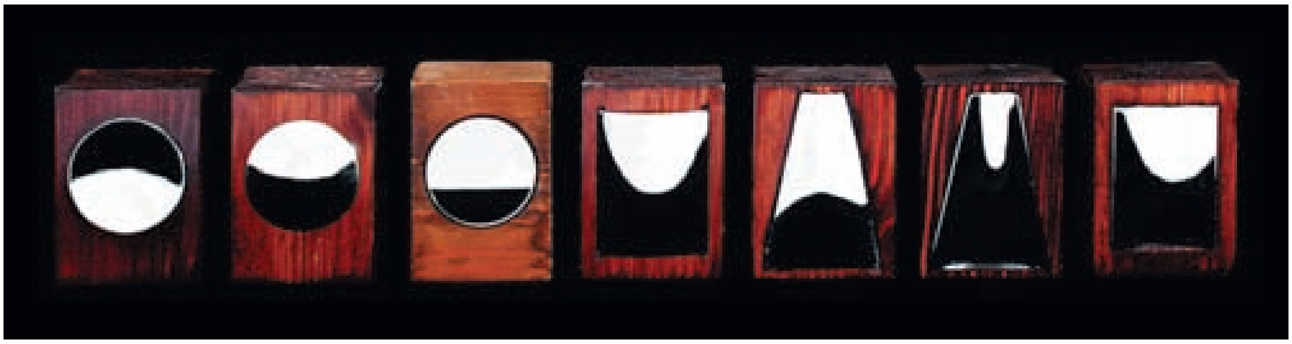
[1] *Tanqīḥ al-Manāẓir*, a.a.O.Bd. 1, S. 339.
[2] al-Ḥasan b. al-Haiṯam, a.a.O. S. 346-363.





Der zweite Hauptbestandteil ist ein Halbzylinder aus Holz, der fest auf einer runden Holzplatte ruht, wie im Schnitt auf nebenstehender Skizze dargestellt. Ibn al-Haiṯam betont die Notwendigkeit, Holz von sehr guter Qualität zu verwenden.
Der äußere Durchmesser des Zylinders beträgt 28 cm, die Dicke seiner Wand 4 cm und ihre Höhe 12 cm. In die Innenwand des Zylinders wird die oben beschriebene Messingplatte, parallel zum Fundament und im Abstand von 4 cm zu diesem eingesetzt. Sie wird bis zur Mitte der Holzwand (2 cm) in eine Nut geschoben, so daß ihre innere Kreislinie die Innenwand des Zylinders tangiert. Dann [besser: vorher] werden sieben zylindrische Löcher mit je 1 cm Durchmesser durch die Holzwand gebohrt, derart, daß sie die Platte von oben her tangieren und ihre Achsen parallel zu den darunter liegenden sieben Radien liegen, die auf der Platte gezogen sind.
In dem hölzernen Fundament ist vor dem offenen Halbzylinder eine rechteckige Vertiefung ausgespart, in die die Spiegel eingesetzt werden, die für die Beobachtungen gebraucht werden. Vorgesehen sind sieben Spiegel mit den dazugehörigen Haltern: ein ebener, zwei sphärische, zwei zylindrische und zwei konische (jeweils konkav und konvex). Sie werden so in die Vertiefung eingepaßt und befestigt, daß ihr Mittelpunkt jeweils mit der Spitze der Messingplatte in Berührung kommt. Beim Experimentieren werden sechs der sieben Löcher auf der Außenseite des Halbzylinders abgeblendet und auf der Innenseite mit je einem weißen Stück Papier abgeklebt. Dieses wird mit einem Finger fest angedrückt, bis sich der runde Rand abzeichnet und der Mittelpunkt der Öffnung mit einem feinen Stift kenntlich gemacht werden kann.
Ibn al-Haiṯam bevorzugt für Beobachtungen mit diesem Gerät einen Raum, in den das Sonnenlicht durch ein enges Loch einfällt. Die Vorrichtung wird so aufgebaut, daß das Sonnenlicht durch das jeweils geöffnete Loch auf den Spiegel trifft und dort reflektiert wird. Das reflektierte Licht läßt sich dann von der Innenseite des Halbzylinders aus an dem abgeklebten Loch erkennen, das mit dem offenen Loch und der Spitze der Messingplatte ein gleichschenkliges Dreieck bildet. Vertauscht der Experimentator die Rolle der Löcher, wird er denselben Effekt erzielen.
Man kann auch ein Rohr benutzen, dessen Durchmesser so gewählt wird, daß es gerade in eines der Löcher hineinpaßt, und dessen Länge dem Durchmesser des Zylinders entspricht, so daß es mit seinem Ende den Mittelpunkt des Spiegels berührt.





Instrument
zur Beobachtung des Mondlichtes

Unser Modell:
Holz (Eiche), gebeizt und lackiert.
Beobachtungsschiene mit in Nut geführtem Diopter. Länge: 50 cm.
Messinggelenk mit Stellschrauben.
Höhe des Ständers: 100 cm.
(Inventar-Nr. E 2.07)

In seinem «Traktat über das Licht des Mondes» (*Maqāla fī Ḍau' al-qamar*[1]) will Ibn al-Haiṯam (gest. nach 432/1041) zeigen, «daß der Mond sich wie ein selbst-leuchtender Körper verhält und sich somit von reflektierenden oder durchsichtigen, das Licht nur durchlassenden, leuchtenden Körpern grundsätzlich unterscheidet».

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 6, S. 255-256. Die Schrift wurde im Jahre 1357 (1939) in Haidarabad herausgegeben (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 75, Frankfurt 1998, 8. Text), deutsche Übers. Karl Kohl, *«Über das Licht des Mondes». Eine Untersuchung von Ibn al-Haitham*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 56-57/1924-25 (1926)/305-398 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 58, Frankfurt 1998, S. 135-228), ausführliche Analyse von M. Schramm, *Ibn al-Hayṯams Weg*, a.a.O. S. 70-87, 130-189.

«Den Begriff des selbst leuchtenden Körpers hat er gegenüber diesen anderen Fällen folgendermaßen bestimmt: von jedem seiner Punkte soll zu jedem Punkt, der ihm gegenüberliegt, Licht ausgehen. Er will also nunmehr vom Mond nachweisen, daß seine leuchtende Fläche dieser Bedingung genügt.»[2]

Diese Beschaffenheit des Mondlichtes zu erklären, baut Ibn al-Haiṯam ein Instrument[3], das er ausführlich schildert: «Um die Eigenschaft des Mondlichtes zu untersuchen, nehmen wir ein Lineal von passender Länge, Breite und Dicke, das genau gerade ist und eine ebene Fläche hat. An seinen Enden bringen wir (senkrecht zu der ebenen Fläche) zwei untereinander parallele Absehen von passender Länge an, die gleich lang und gleich breit sind; dabei soll ihre Breite gleich derjenigen des Lineals sein. In der Mitte der einen von ihnen, nahe dem Ende des Lineals, bringen wir eine Höhlung mit glatten Wänden an, die einer Halbkugel gleicht, und bohren in ihre Mitte ein kleines rundes Loch. Von der Mitte der anderen Absehe ziehen wir eine gerade Linie parallel zu der Fläche des Lineals. Sie steht ebensoweit von der Fläche des Lineals ab als die Mitte des Loches in der ersten Absehe. Ihre Länge, auf der Breite der Absehe gemessen, wird so gewählt, daß sie, von dem Mittelpunkt des Loches in der ersten Absehe gesehen, einem Winkel entspricht, der nicht kleiner ist als der Winkel, unter dem der Durchmesser des Mondes vom Auge aus erscheint. Wir richten es so ein, daß der Rest der Längen der beiden Absehen sowie die Breite der Absehe, die die Linie besitzt, auf beiden Seiten zusammen nicht kleiner sind als die Länge der Linie. Wir schneiden diese Linie aus, bis sie den Körper der Absehe durchdringt, und machen den Rand so glatt als möglich (wir haben dann einen Schlitz in der Absehe). Dann nehmen wir ein anderes Lineal mit parallelen Flächen, das beträchtlich länger, aber ebenso breit wie das erste ist. Mit diesem verbinden wir das erste Lineal und bringen sein Ende, auf dem sich die Absehe mit dem Schlitz befindet, genau an das Ende des zweiten

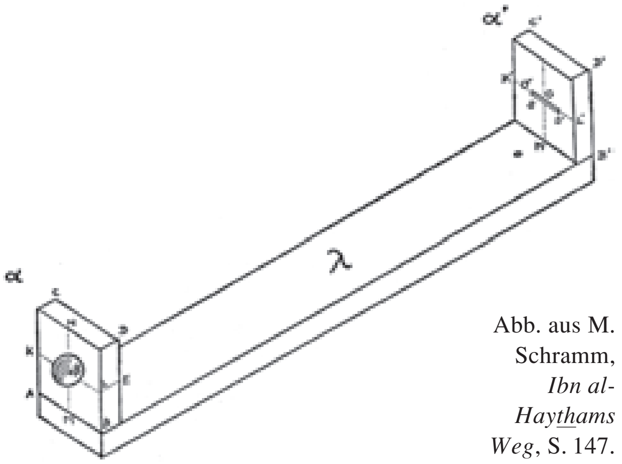


Abb. aus M. Schramm, *Ibn al-Haythams Weg*, S. 147.

viereckigen Lineals. An den beiden verbundenen Enden bringt man eine Achse (ein Scharnier) an, um die sie sich drehen. Das andere Ende des langen zweiten viereckigen Lineals befestigt man auf einer viereckigen Basis, einem Klotz, so daß dieses Lineal die Gestalt des Instrumentes mit zwei Schenkeln hat.»[4]

Die Verwendung des Instrumentes erklärt Ibn al-Haiṯam folgendermaßen: «Um die Eigenschaft des Mondlichtes mit diesem Instrument zu untersuchen, stellen wir uns dem Mond mit diesem Instrument gegenüber, legen das Auge an das kleinere Loch und bewegen das Lineal, bis wir den Mondkörper durch das Loch und den Schlitz gleichzeitig sehen. Dann bewegen wir das erste Lineal mit den beiden Absehen nach oben und unten, bis man eines der beiden Enden des Spaltes, der sich in der oberen Absehe befindet, zugleich mit dem Umfang des Mondkörpers sieht und zwar auf der Seite, die diesem Rande benachbart ist: wobei das von dem Schlitz bedeckt ist, was übrig bleibt, und was nahe dem anderen Rande zu liegt, falls dort ein leeres Loch ist, so daß man den Umfang des Mondkörpers mit dem Ende der bedeckenden Teile sieht. Es ist klar, daß das Auge von dem Mond bei dieser Einstellung nichts sieht außer dem, was man durch den Spalt sieht. Denn was übrig bleibt von den beiden Absehen auf jeder der beiden Seiten des Spaltes, umfaßt bei dem

[2] M. Schramm, *Ibn al-Haythams Weg*, a.a.O. S. 146.

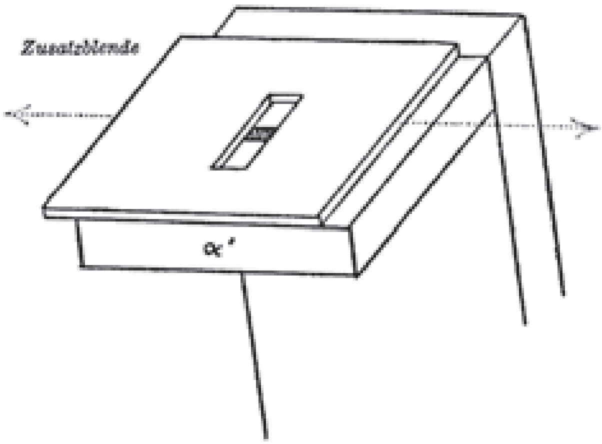
[3] s. Muṣṭafā Naẓīf, *al-Ḥasan b. al-Haiṯam*, a.a.O. S. 156-158; M. Schramm, *Ibn al-Haythams Weg*, a.a.O. S. 146 ff.

[4] *Maqāla fī Ḍau' al-qamar,* S. 12-13; Übers. K. Kohl, *Über das Licht des Mondes,* a.a.O. S. 334 (Nachdruck, a.a.O. S. 164).

kleinen Loch einen Winkel, der nicht kleiner ist als der Winkel, welchen der Durchmesser des Mondes vom Auge aus umfaßt. Haben wir dieses getan, so entfernen wir das Auge vom Loch und stellen gegenüber dem Loch (da, wo sich das Auge befand) einen kleinen dichten Körper; es erscheint auf ihm entsprechend das Licht. In diesem Falle tritt das Licht aus dem Loch heraus und scheint auf den gegenüberstehenden Körper. Hieraus folgt, daß das Licht, das aus dem Loch bei dieser Einstellung ausgeht, nur von dem Teil des Mondes kommt, welchen man von dem Spalt sieht. Dieses ist ein Zeichen dafür, daß das Licht nur in der Richtung gerader Linien ausgeht, in deren Richtung das Auge erfaßt, was auf diesen Linien gelegen ist, und in diesem Zustande des Loches erscheint nichts von dem Objekt außer dem Teil, welchen man allein durch den Spalt erfaßt. Es ist klar, daß das Licht, welches man bei dieser Einstellung sieht, nur Licht ist, welches von diesem Teil ausgeht, welchen man durch den Spalt sieht. Erscheint das aus dem Loch austretende Licht, so hält man den Körper fest, auf den das Licht bei dieser Einstellung scheint, und setzt auf den Rand des Spaltes einen dichten Körper auf und bewegt ihn ganz allmählich und beobachtet das aus dem Loch austretende Licht. Dies nimmt ganz allmählich ab, bis es verschwunden ist. Ebenso ist es, wenn man den verdeckenden Körper an den anderen Rand des Spaltes anlegt und allmählich bewegt. Auch dann wird das austretende Licht immer weniger, bis es verschwunden ist, und man findet kein Licht, da es vollkommen verschwunden ist. Solange in dem Spalt ein Teil frei ist, ist das aus ihm austretende Licht diesem merklich ähnlich. Hieraus ergibt sich, daß das Licht von jedem Teil des sichtbaren Teiles des Spaltes nach dem kleinen Loch ausgeht. Denn wenn das Licht nur von einem Teil des Mondes ausginge und nicht von den übrigen, so würde nichts von dem Lichte verschwinden, bis der verdeckende Körper gerade bis zu dieser Stelle gelangt ist. Wenn er aber bis zu dieser Stelle gelangt ist, so würde das aus dem Loch austretende Licht plötzlich verschwunden sein und nicht allmählich abnehmen; es verschwindet aber nicht plötzlich. Aus dieser Betrachtung folgt, daß das aus dem kleinen Loch austretende Licht von dem ganzen sichtbaren Spalt herrührt. Da dies schwierig zu beobachten ist, so wird die Abnahme des Lichtes, das aus dem Spalt austritt, nicht deutlich wahrgenommen. Es ist daher notwendig, daß man das Lineal feststellt und das, was von dem Rand übersteht, verdeckt, damit man an dem kleinen Loch nur den Teil der Mondfläche erblickt, der in der Richtung diesem Teile des Spaltes gegenüberliegt. Das Licht geht von dem Spalt zu dem kleinen Loch und erscheint auf dem Körper, der hinter dem Loch fest aufgestellt ist. Wenn man den Spalt von beiden Seiten her verdecken will, bis von ihm nur ein kleiner Teil übrig bleibt, so daß das Licht, das von ihm austritt, gerade noch merklich ist und nicht weniger als das, was bemerkt werden kann (d.h. wenn man gerade an die Grenze der Wahrnehmbarkeit herangeht), so legt man auf den Spalt einen Körper mit einem kleinen Loch und bedeckt dadurch den ganzen Spalt bis auf ein diesem Loch entsprechendes Stück. Es ist in diesem Falle klar, daß das Licht, das von dem kleinen ersten Loch zu dem festen hinter ihm befindlichen Körper geht, Licht von einem kleinen Teil der Mondfläche ist, und nur der sehr kleine Teil, von dem das Licht ausgeht, wird von dem ersten Loch erfaßt. Dabei stehen die Ränder des Spaltes gegenüber der Fläche des Mondes, und es wird nur ein mittlerer Teil des Mondes beobachtet.»

«Wenn man von diesem Spalt einen größeren Teil bedeckt, so daß nur ein kleinerer Teil übrigbleibt, so erfaßt der Blick von dem ersten Loch aus und durch den Teil des Spaltes, der unbedeckt bleibt, einen bestimmten Betrag des Mondes. Es ist der Betrag, den der Mond von dem Spalt erfaßt. Es sei dies der kleinste Betrag, von dem noch merklich Licht ausgeht. Es ist klar, daß das aus beiden Löchern austretende Licht nur das von diesem kleinen Teil ausgehende Licht ist, da man nicht noch etwas anderes durch diese beiden Löcher als nur diesen Teil des Mondes sieht. Hierauf muß man den verdunkelnden Körper, der auf den Spalt aufgelegt ist, längs des Spaltes selbst langsam und vorsichtig bewegen. Dadurch wird der unbedeckte Teil des Spaltes verändert. Der ihm und dem ersten Loch gegenüberstehende Teil wird ein anderer Teil des Mondes sein als der erste. Dann bewegt man den bedeckenden Körper nach oben oder unten, bis das kleine Loch, welches sich in

dem verhüllenden Körper befindet, den ganzen Spalt zum Verschwinden bringt. Dabei tritt das Licht stets aus den beiden Löchern gleichartig aus.»
«Aus diesen Betrachtungen folgt, daß das Licht von dem ganzen Teil des Mondes, der dem Spalt gegenüberliegt, austritt. Hernach muß man das senkrechte Lineal im Kreise um einen sehr kleinen Betrag drehen, bis der Spalt auf einen anderen Teil der Mondfläche gerichtet ist, der dem ersten Teil parallel ist und an ihn anstößt. Dann findet man, daß das Licht wiederum aus dem Loch ebenso austritt, als es aus dem ersten Teil austrat. Bedekken wir wieder diesen Teil allmählich, so nimmt das Licht allmählich ab. Legen wir auf den Spalt einen verdeckenden Körper mit einem Loch (Lochblende), wie erwähnt, und bewegt man ihn, so findet man, daß das Licht stets aus beiden Löchern austritt. Bewegt man das senkrechte Lineal allmählich nach rechts und links, bis die sichtbare Fläche des Mondes verschwindet, so verhält sich der Mond in all diesen Lagen genau gleich. Hieraus folgt, daß das Licht von allen Teilen der Mondfläche zu dem kleinen Loch geht. Man dreht das Instrument zu zahlreichen verschiedenen Stellen und beobachtet bei ihnen das Licht wie vorher. Auch wenn man zahlreiche Instrumente an verschiedenen Orten zu gleicher Zeit aufstellt, beobachtet man an ihnen immer das nämliche.»
«Beobachtet man die Eigentümlichkeit des Mondlichtes in dieser Art, so muß man bei der Beobachtung durch Helfer (Assistenten) unterstützt werden und das Lineal muß, wenn das aus dem kleinen Loch austretende Licht beobachtet wird, unveränderlich festgehalten werden, so daß es sich nicht bewegen kann. Es muß ferner der Körper, auf dem das aus dem kleinen Loch austretende Licht erscheint, dem Loch sehr nahe stehen, und die Beobachtung des austretenden Lichtes muß sehr sorgfältig erfolgen. Denn das von einem kleinen Teil austretende Licht ist sehr schwach, daher ist es nötig, auf das sorgfältigste danach zu suchen.

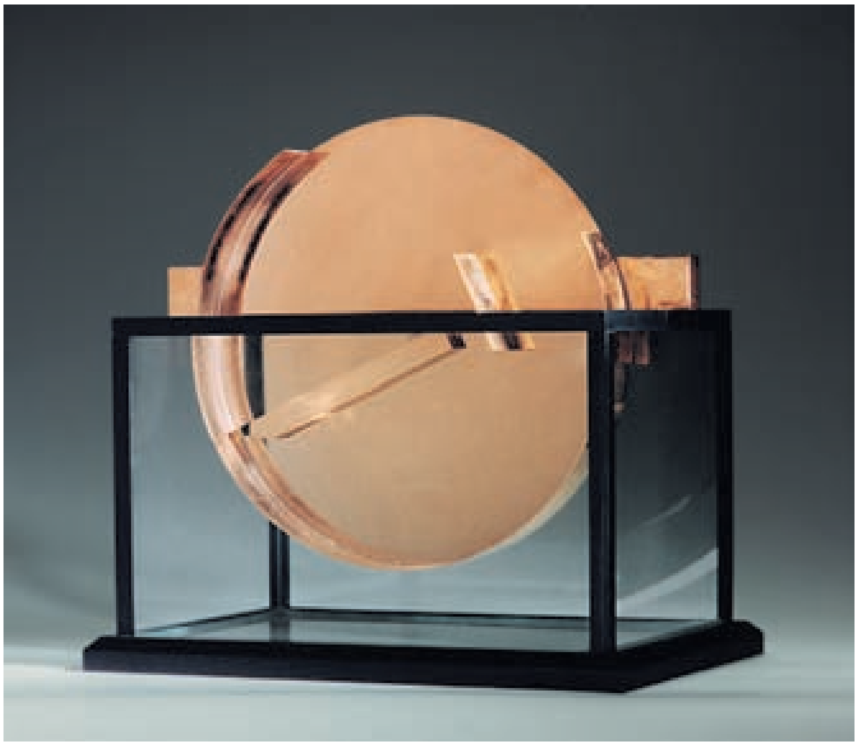


Zeichnung aus M. Schramm, *Ibn al-Haytham̲s Weg*, S. 168.

Man muß die Beobachtungen in den Nächten des Vollmondes anstellen. Findet man, daß der Zustand bei jedem Punkte, für den das Licht beobachtet wird, und zu jeder Zeit, zu der beobachtet wird, genau gleich ist, so ergibt sich daraus, daß das Licht von der ganzen Oberfläche des Mondes zu jedem gegenüberliegenden Punkte geht. Geht aber das Licht von der ganzen leuchtenden Mondfläche zu jedem gegenüberliegenden Punkt, so geht von jedem Punkt der Mondoberfläche Licht zu jedem gegenüberliegenden Punkt.»[5]
«Die Form der Blende, welche Ibn al-Haytham empfiehlt, denkt man sich am besten wohl als Platte, in der ein Schlitz angebracht ist, der den Spalt der Objektivkimme kreuzt. Daß es sich nicht um eine Vorrichtung handeln kann, welche auch die Breite dieses Spaltes beschneidet, zeigt uns gerade die Art und Weise, in der Ibn al-Haytham die Breite dieses Schlitzes durch Verschieben der Blenden von beiden Seiten hin zur Mitte bestimmt sehen will.»[6]
Unser Modell wurde nach der ausführlichen Beschreibung von Ibn al-Haiṯam hergestellt.

[5] Ebd. S. 335-338 (Nachdruck, S. 165-168).
[6] M. Schramm, *Ibn al-Haythams Weg*, a.a.O. S. 168.

Apparat
zur Beobachtung der Brechung des Lichtes



Unser Modell:
Messing, graviert.
Durchmesser: 34 cm, drehbar an Messinggestell aufgehängt.
Glasbehälter mit lackiertem Messingrahmen (25 × 40 × 27 cm).
(Inventar-Nr. E 2.03)

Im siebenten Traktat (*maqāla*) seines Buches der Optik[1] beschreibt Ibn al-Haiṯam (gest. nach 432/1041) ein Instrument zum Experimentieren mit verschiedenen Fällen der Brechung (*inʿiṭāf*), wobei die Beziehungen zwischen Einfallswinkel (*zāwiya ʿaṭfīya*), Brechungswinkel (*zāwiya bāqiya*) und Ablenkungswinkel (*zāwiya inʿiṭāfīya*) untersucht werden. Diese Beschreibung wurde von Eilhard Wiedemann im Jahre 1884 aus der lateinischen Übersetzung und im Vergleich mit dem arabischen Original ins Deutsche übertragen[2]:
«Man nimmt eine runde, ziemlich starke Scheibe aus Kupfer von wenigstens einer Elle Durchmesser. Sie muß einen Rand haben, der senkrecht auf ihrer Oberfläche steht und wenigstens drei Finger breit ist. In der Mitte des Rückens der Scheibe muß sich eine kleine runde Säule (Fig. 2 *b*) von wenigstens drei Finger Länge befinden, die senkrecht auf der Oberfläche der Scheibe steht.»

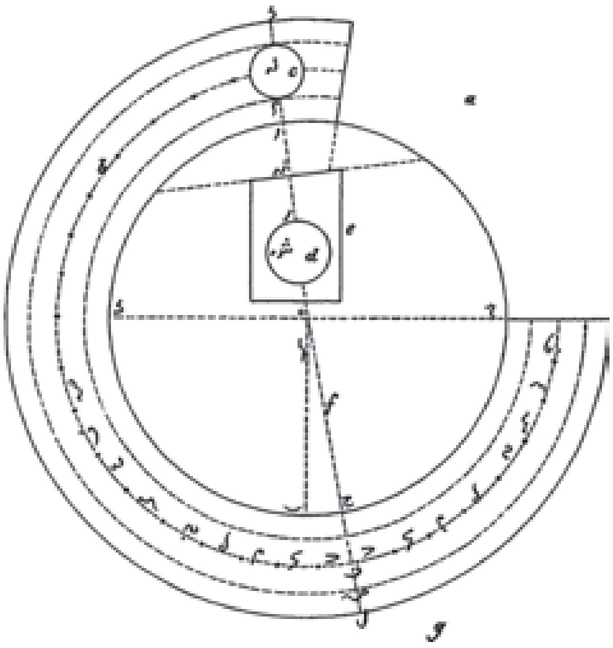


Fig. 1 von E. Wiedemann (nach Ibn al-Haiṯam).

[1] Kamāladdīn al-Fārisī, *Tanqīḥ al-Manāẓir*, a.a.O., Bd. 2, S. 115 ff.; Muṣṭafā Naẓīf Beg, *al-Ḥasan b. al-Haiṯam*, a.a.O. S. 685-693.
[2] E. Wiedemann, *Über den Apparat zur Untersuchung und Brechung des Lichtes von Ibn al Haiṯam*, in: Annalen der Physik und Chemie (Leipzig) N.F. 21/1884/541-544 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften*, Bd. 1, S. 33-36 und in: Natural Sciences in Islam, Bd. 33, Frankfurt 2001, S. 111-114).

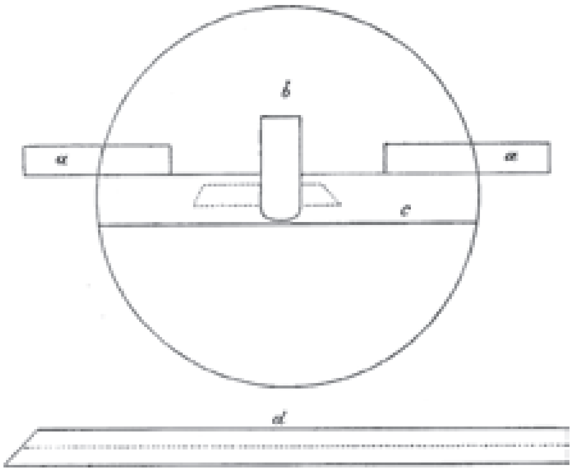


Fig. 2 von E. Wiedemann (nach Ibn al-Haiṯam).

«Dieses Instrument befestigen wir so auf der Drehbank, auf der die Drechsler ihre Kupfergeräthe drehen, daß die eine Spitze derselben auf die Mitte der Scheibe, die andere auf die Mitte der kleinen Säule kommt, und drehen den Apparat so lange ab, bis die Ränder innen und außen vollständig kreisrund und glatt sind, und die kleine Säule auch kreisrund ist. Hierauf ziehen wir auf der inneren Oberfläche des Instrumentes zwei aufeinander senkrechte Durchmesser, dann bezeichnen wir einen Punkt auf der Basis des Randes des Instrumentes, dessen Abstand vom Ende eines der beiden Durchmesser eine Fingerbreite beträgt. Von diesem Punkte aus ziehen wir einen dritten Durchmesser durch die Mitte der Scheibe.»

«Dann ziehen wir von den beiden Enden dieses Durchmessers aus zwei Linien auf dem Rande, senkrecht zur Oberfläche der Scheibe. Auf der einen dieser beiden Linien bezeichnen wir von der Scheibe aus drei etwa um die Länge eines halben Gerstenkornes voneinander abstehende Punkte und ziehen auf der Drehbank durch diese Punkte drei voneinander gleichweit abstehende Kreise, die natürlich die gegenüberliegende kurze Linie gleichfalls in drei gleichweit voneinander abstehenden Punkten schneiden. Dann theilt man den mittleren Kreis in 360 Grade und womöglich noch in Minuten. In den Rand bohrt man ein kreisförmiges Loch, dessen Mittelpunkt der mittlere der obigen drei Punkte ist, und dessen Durchmesser gleich dem Abstand der beiden äußersten ist. Nun nehmen wir ein mäßig dünnes, genau rechteckiges ebenes Stück Blech *d* von der Höhe des Randes und etwa gleicher Breite. Von der Mitte der einen Seite ziehen wir eine zu dieser senkrechte Linie, auf der wir drei Punkte, die gleichweit voneinander abstehen, bezeichnen. Ihr Abstand *a* sei dabei gleich den Abständen je zweier der Kreise auf dem Rande. Wir bohren dann in die Platte ein rundes Loch, dessen Mittelpunkt dem mittleren der obigen Punkte entspricht, und dessen Radius gleich dem Abstande *a* ist. Wir erhalten so ein Loch, das vollkommen mit dem im Rande des Instrumentes correspondirt. Darauf sucht man den Mittelpunkt des Radius, welcher den Mittelpunkt der Scheibe mit der Linie auf dem Rande verbindet, auf welcher sich das Loch befindet, und zieht durch ihn eine Senkrechte zu dem Radius; längs dieses befestigt man nun vollkommen fest das kleine Blech, sodaß die Mitte desselben genau auf den Radius zu liegen kommt, die kleine Öffnung in ihr liegt dann genau derjenigen auf dem Rande gegenüber. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte der beiden Öffnungen liegt in der Ebene des mittleren der beiden Kreise auf dem Rand, liegt parallel zu dem Durchmesser auf der Scheibe und verhält sich wie die Absehe beim Astrolab. Hierauf schneidet man aus dem Rande des Instrumentes dasjenige Viertel aus, welches an das Viertel sich anschließt, in welchem sich das Loch befindet, und welches durch die zwei ersten Durchmesser bestimmt ist, und gleicht den Rand genau ab. Hierauf nimmt man ein quadratisches Stück Metall von eher mehr als einer Elle Länge und feilt die Flächen desselben möglichst senkrecht zu einander ab. In der Mitte derselben bohrt man ein Loch senkrecht zu der einen Fläche, sodaß sich der obenerwähnte säulenförmige Theil schwierig in demselben drehen läßt. In dieses Loch setzt man den säulenförmigen Theil ein. Von dem Metallstück schneidet man soviel ab, daß es gleich steht mit dem Rande der Scheibe, und legt die beschnittenen Enden auf die Enden des Metallstückes und verbindet sie mit denselben. Zweckmäßig ist es, durch das Ende der kleinen Säule, die aus der Öffnung im quadratischen Stück hervorragt, einen kleinen Stift zu treiben.»

«Die Messungen werden so angestellt, daß man das Instrument bis zum Mittelpunkt ins Wasser taucht, der Verbindungslinie der beiden Öffnungen verschiedene Neigungen gegen den Horizont gibt und den Mittelpunkt des Bildes unter dem Wasser bestimmt, wenn die Sonnenstrahlen eben die beiden Öffnungen durchsetzen.»

Versuchsanordnung

zum Nachweis, daß die Strahlen des frühen Morgenlichtes geradlinig verlaufen

Unser Modell:
Holz, lackiert.
Zwei Kästen (je 30×30×40 cm), durch eine schräg verlaufende Röhre miteinander verbunden (die Röhre hier offenliegend statt, wie bei Ibn al-Haiṯam, durch die Verbindungswand zwischen den Kammern geführt). Eine runde Öffnung oben an der Außenseite eines der Kästen, auf die Röhre hin ausgerichtet.
Frontseiten aus Acrylglas.
(Inventar-Nr. E 2.05)

Ibn al-Haiṯam betrachtet das Licht der Morgendämmerung als akzidentell. Um das nachzuweisen, führt er sein Experiment mittels zweier durch eine Wand von einander getrennter Räume durch. Den betreffenden Text hat E. Wiedemann im Jahre 1912 anhand der Leidener Handschrift des *Tanqīḥ al-Manāẓir* von Kamāladdīn al-Fārisī[1] ins Deutsche übertragen[2]:

[1] *Tanqīḥ al-Manāẓir*, a.a.O. Bd. 1, S. 33.

[2] *Zu Ibn al Haiṯams Optik*, in: Archiv für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik (Leipzig) 3/1911-12/1-53, bes. S. 29-30 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften* Bd. 1, S. 541-593, bes. S. 569-570, und in: Natural Sciences in Islam Bd. 33, Frankfurt 2001, S. 165-217, bes. S. 193-194); s. noch Muṣṭafā Naẓīf Beg, *al-Ḥasan b. al-Haiṯam*, a.a.O. S. 158-160.

«Man hat zwei benachbarte Häuser *A* und *B*, von denen das eine östlich, das andere westlich liegt. Das Licht soll nicht in sie eindringen können. Die östliche Wand *O* des östlichen Hauses *A* liegt gegen den Himmel offen (d.h. es liegt kein Haus davor); an ihrem oberen Teil ist ein kreisförmiges Loch *K* gebohrt, dessen Durchmesser mindestens 1 Fuß ist und das in Form eines Kegels *K* geschnitten ist[3], dessen innerer Teil weiter ist als sein äußerer, der nach Osten gerichtet ist. In die gemeinschaftlichen Wände zwischen den beiden Häusern bohrt man zwei einander gegenüberstehende Löcher O_1 und O_2, die gleich sind dem erwähnten Loch, sie haben Zylindergestalt, so daß, wenn man eine gerade Linie, die einen Punkt des äußeren Endes des ersten Loches und den näheren der Punkte der beiden Grenzen der beiden Löcher verbindet, dreht, sie auf die Fläche des zylindrischen Loches hingleitet und zu dem westlichen Loche gelangt O_2. Die beiden Löcher O_1 O_2 müssen näher an der Erde liegen, als das erste Loch *K* und so daß, wenn man in eines von ihnen sieht, man den Himmel durch das erste erblickt. Das Wesentliche an der Sache ist, daß die Wand ein Körper ist, so daß die Löcher eine entsprechende Erstrekkung haben, und sich daher das aus ihnen austretende Licht nicht übermäßig verbreitern kann. Dann spannt man einen Faden, der an einem Nagel an dem äußeren Rande von *K* befestigt ist, aus, so daß er längs des Randes der beiden Löcher O_1 und O_2 verläuft; er ist dann gerade. Am Ende des Fadens macht man eine Marke *f*. Dann geht der Beobachter in einer schwarzen finsteren Nacht in das Haus …»

«Dann betrachtet er die Morgenhelle (*ṣabāḥ*); wenn sie aufleuchtet, so sieht er durch beide Löcher, bis er die Luft leuchtend sieht. Dann betrachtet er sorgfältig die Stelle *f*. Er sieht dann an ihr eine schwache Spur von Licht. Entsprechend dem

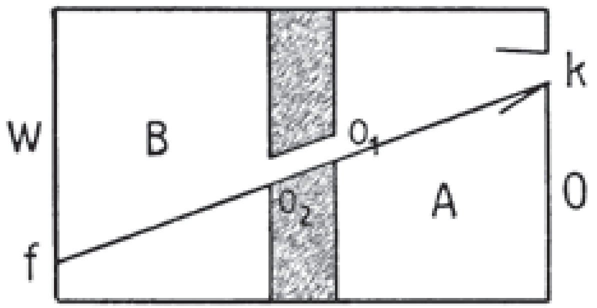


Abb. von E. Wiedemann.

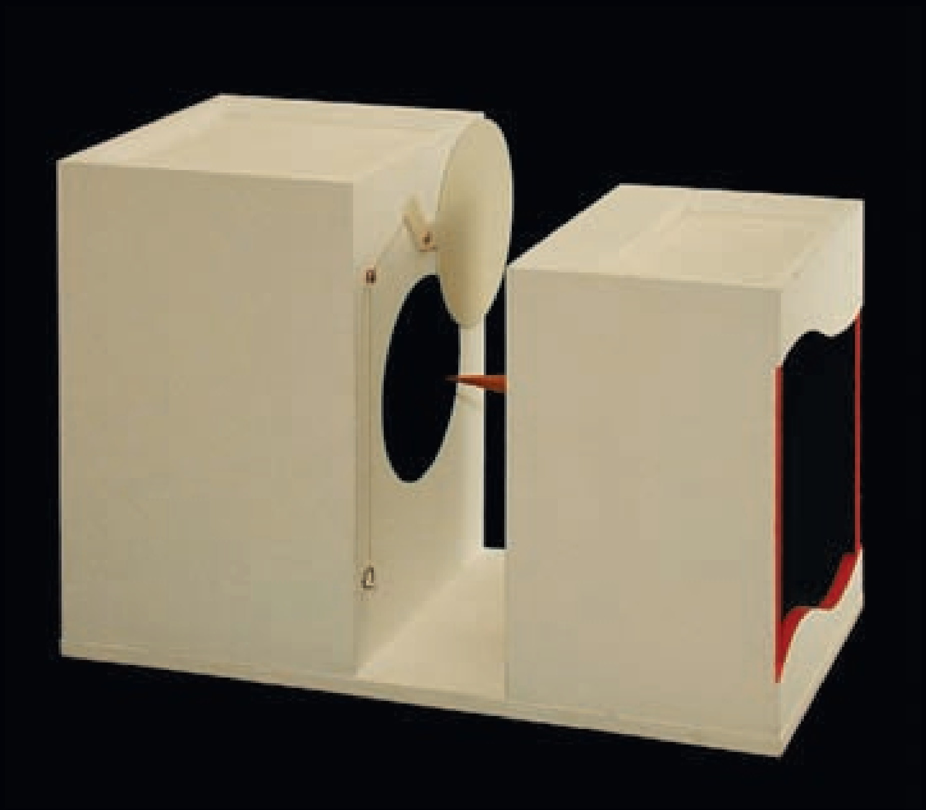
Aufsteigen des Lichtes wird sie stärker, bis sie deutlich ist und an beiden Stellen (unmittelbar am Loch und bei *f*) kreisrund und etwas weiter als das Loch erscheint, entsprechend der Verbreiterung des Lichtes. Wenn dann eines der beiden Löcher bedeckt wird, wird sein Licht von der gegenüberliegenden Stelle abgeschnitten, und schneidet man die gerade Erstreckung zwischen dem Loch und dem auffallenden Lichte durch einen dichten Körper, so erscheint es auf diesem und wird von seiner Auftreffstelle (*f*) abgeschnitten. Dasselbe tritt auf der Strecke zwischen dem oberen und dem unteren Loch ein. Bohrt man in das westliche Haus mehrere Löcher entsprechend dem bestimmten (ersten) Loch, so findet man entsprechend viele Lichter, und sie werden in dem Hause wie eben geschildert kräftiger. Man kann diese (geradlinige) Erstreckung mit einem geraden Stabe bestimmen. Schneidet man gekrümmte Erstreckungen (d.h. Stellen), die nicht auf der Geraden gelegen sind, durch einen dichten Körper, so verschwindet das auffallende Licht nicht und erscheint nicht auf dem dunklen Körper.»

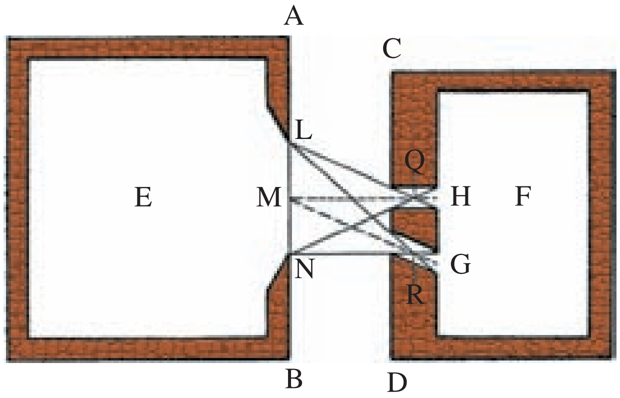
Unser Modell wurde nach der ausführlichen Beschreibung und der Skizze von E. Wiedemann (1912) hergestellt.

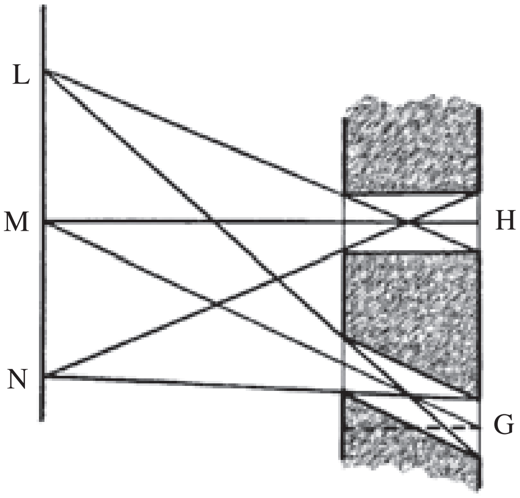
[3] Hier haben wir die Übersetzung Wiedemanns korrigiert.

Versuchsanordnung
zum Nachweis, daß akzidentelles Licht geradlinig verläuft

Unser Modell:
Holz, lackiert.
Gesamtbreite 55 cm.
Linker Kasten mit Holzkegel und schräg verlaufender Lichtöffnung, einseitig zur Demonstration offen.
Rechter Kasten mit schwenkbarer Blende.
(Inventar-Nr. E 2.04)

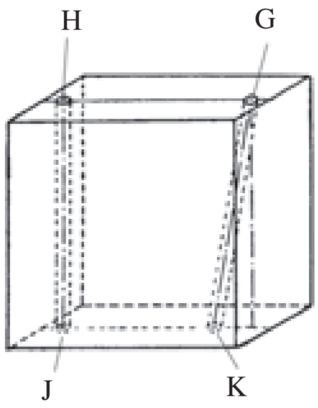






Abbildungen nach M. Naẓīf.

Die Erklärung dieses Versuches von Ibn al-Haiṯam ist ziemlich kompliziert. Sein Text ist sehr ausführlich, doch fehlen Abbildungen in den erhaltenen Handschriften. So ist auch die Übersetzung von E. Wiedemann[1] nicht einwandfrei. Muṣṭafā Naẓīf, der bedeutende Kenner der Optik von Ibn al-Haiṯam[2], hat sich bemüht, gestützt auf den Kommentar von Kamāladdīn al-Fārisī[3], eine verständliche Interpretation zu geben. Für unseren



Nachbau haben wir uns auf seine Darstellung und seine Skizzen gestützt. Muṣṭafā Naẓīf hält diese Versuchsanordnung, abgesehen von der Kompliziertheit ihrer Ausführung, für eines der besten Beispiele des hohen Niveaus der von Ibn al-Haiṯam entwickelten Methoden.[4] Dieser führt seinen Versuch mittels zweier Räume durch, die einander in einem Abstand von ca. 80 cm gegenüberliegen und je eine Tür aber kein Fenster besitzen. Sie sind in ost-westlicher Richtung angeordnet.

Man fertigt einen Würfel aus Holz mit einer Kantenlänge von ca. 60 cm, entsprechend der Dicke der Wand CD. Zwei einander gegenüberliegende Flächen des Würfels werden parallel zu den Kanten in der Mitte durch eine Linie geteilt. Auf den Linien werden je zwei Kreise (G, H und K, J) mit einem Durchmesser von ca. 4 cm und einem Abstand von 4 cm (G, H, J) bzw. 8 cm (K) von der Außenkante gezeichnet. Zwischen H und J und zwischen G und K wird der Würfel im Durchmesser der Kreise exakt zylinderförmig durchbohrt. Dann wird er in die dem Nachbarraum zugewandte Wand CD, die den gleichen Durchmesser hat, fest eingefügt. Anschließend wird ein Kegel aus Holz mit einem Fundament von 4 cm Durchmesser und einer Höhe von 140 cm gefertigt, entsprechend dem Abstand zwischen den Wänden der beiden Räume plus der Dicke der Wand CD.
Mit der Spitze des Kegels wird an der Wand des Nachbarraumes der Mittelpunkt M des mit dem Radius LM zu zeichnenden Kreises markiert. Der Punkt L wird durch die Öffnung HJ angepeilt. Es ist der äußerste Punkt, der durch das Loch sichtbar ist. Der Kreis an der Wand des Nachbarraumes dient dazu, dort eine runde Öffnung zu schlagen. Mittels dieser Öffnung und der schmalen Öffnungen in der gegenüberliegenden Wand werden zahlreiche Beobachtungen durchgeführt, die zu der Feststellung führen, daß akzidentelle Lichtstrahlen geradlinig fortschreiten.[5]

[1] *Zu Ibn al Haiṯams Optik*, a.a.O. S. 33 ff. (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften* Bd. 1, S. 573 ff., und in: Natural Sciences in Islam Bd. 33, S. 197 ff).
[2] *al-Ḥasan b. al-Haiṯam*, a.a.O. S. 160-165.
[3] *Tanqīḥ al-Manāẓir*, a.a.O. Bd. 1, S. 33-39.
[4] M. Naẓīf Beg, *al-Ḥasan b. al-Haiṯam*, a.a.O. S. 165.

[5] Zu einer ausführlichen Schilderung der Beobachtungen Ibn al-Haiṯams verweise ich auf die Arbeit von Muṣṭafā Naẓīf.

Camera obscura

Modell aus Holz: 42 × 36 × 37 cm.
Stahlgestell: 90 × 60 × 93 cm. Halterungen aus Messing. Halogenlampe zur Demonstration.
(Inventar-Nr. E 2.01)

Wenn Ibn al-Haiṯam (geb. um 354/965, gest. nach 432/1041)[1] in der Historiographie der Wissenschaften unserer Zeit als der eigentliche Erfinder der Camera obscura angesehen wird, wurde dies allein durch die von Eilhard Wiedemann seit der ersten Dekade des 20. Jahrhunderts unternommenen und von ihm angeregte Forschungen über das Thema bewirkt. Zuvor galt eine Reihe abendländischer Gelehrter als ihr Erfinder, darunter Roger Bacon (gest. um 1290), Witelo (Vitellius, Vitellio, gest. ca. 1280)[2], John Peckham (Pecham, gest. 1292)[3], Levi ben Gerson (gest. 1344)[4], Leone Battista Alberti (1404-1472)[5], Leonardo da Vinci (1452-1519), Francesco Maurolico (1494-1575)[6] oder Giambattista della Porta (gest. 1615)[7].
Die Frage der Camera obscura hat Ibn al-Haiṯam, sicher nicht ohne Kenntnis früherer Ansätze bei seinen griechischen und arabischen Vorgängern, in seinem Grundwerk der Optik (*Kitāb al-Manāẓir*[8]) und in zwei Monographien, «Über die Abbildung von Sonnenfinsternissen» (*Maqāla fī Ṣūrat al-kusūf*[9]) und «Über das Licht des Mondes» (*Maqāla fī Ḍauʾ al-qamar*[10]) behandelt.

[1] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 5, S. 358-374, Bd. 6, S. 251-261.
[2] George Sarton, *Introduction to the History of Science*, Bd. 2, Teil 2, S. 1027-1028.
[3] Ebd. S. 1028-1030.
[4] s. Otto Werner, *Zur Physik Leonardo da Vincis*, Diss. Erlangen 1910, S. 108; J. Würschmidt, *Zur Geschichte, Theorie und Praxis der Camera obscura*, in: Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht (Leipzig und Berlin) 46/1915/466-476, bes. S. 468 (Nachdruck in: Natural Sciences in Islam, Bd. 32, Frankfurt 2001, S. 20-30, bes. S. 22).
[5] s. O. Werner, a.a.O. S. 107.
[6] E. Gerland, *Geschichte der Physik*, München und Berlin 1913, Erste Abteilung, S. 269; O. Werner, a.a.O. S. 107.
[7] E. Gerland, a.a.O. S. 271-272.
[8] Band I, bestehend aus den ersten drei Traktaten, wurde ediert von ʿAbdalḥamīd Ṣabra, Kuwait 1983.
[9] s. F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bd. 6, S. 257.
[10] Ebd. S. 255.

E. Wiedemann und den von ihm angeregten Forschern stand das arabische Original des *Kitāb al-Manāẓir* noch nicht zur Verfügung. Die bereits 1572 von Friedrich Risner[11] publizierte unzuverlässige lateinische Übersetzung ist weit davon entfernt, eine genaue Vorstellung von der Tragweite der darin enthaltenen Behandlung des Themas zu vermitteln. In den Kreisen Wiedemanns entstand daher die Neigung zu vermuten, daß es «eine sehr eingehende Theorie der Camera obscura, und zwar in ihrer Anwendung auf terrestrische Verhältnisse,» erst bei dem Kommentator des *Kitāb al-Manāẓir*, Muḥammad b. al-Ḥasan Kamāladdīn al-Fārisī (gest. um 720/1320) gegeben habe.[12] Den wahren Sachverhalt erfahren wir erst dank der umfassenden, hervorragenden Arbeiten von Muṣṭafā Naẓīf[13] und Matthias Schramm[14].

Eine klare Beschreibung der Camera obscura findet Schramm[15] im *Kitāb al-Manāẓir* im Rahmen der Theorie von Licht und Farbe. Ibn al-Haiṯam gibt hier «besondere Ratschläge für die experimentelle Realisierung des Camera obscura-Effektes. Dieser Abschnitt, der nunmehr die Beschreibung einer Camera obscura im strengen Sinn, eines verdunkelten, mit Lochblende versehenen Raumes, bringt, in welchem sich der Beobachter befindet, ist von dem Übersetzer der Risnerschen Ausgabe ausgelassen worden, ein Zeichen dafür, daß er oder seine mutmaßliche Leserschaft an der experimentellen Seite nicht übermäßig interessiert waren.»

«Ibn al-Hayṯham schreibt: ‹Es ist möglich, daß dieser Sachverhalt zu jedem Zeitpunkt und mit Leichtigkeit systematisch beobachtet wird; und dies dadurch, daß der Beobachter irgendeine Kammer in einer dunklen Nacht aufsucht. Die Kammer soll eine Tür mit zwei Flügeln besitzen. Er (der Beobachter) soll mehrere Leuchter herbeischaffen und sie der Tür gegenüber und getrennt anbringen. Dann soll der Beobachter ins Innere der Kammer eintreten und die Tür wieder schließen; er soll aber zwischen den beiden Türflügeln einen Spalt lassen und einen geringen Betrag von ihnen (den Türflügeln) öffnen. Alsdann soll er die der Tür gegenüber befindliche Wand der Kammer beobachten. Er wird nämlich auf ihr voneinander getrennte Lichterscheinungen finden, nach der Anzahl jener Leuchter, und zwar so, daß sie (die Lichterscheinungen) von dem Spalt her eintreten, wobei jede einzelne von ihnen sich einem bestimmten von jenen Leuchtern gegenüber befindet. Wenn alsdann der Beobachter Auftrag gibt, daß einer von jenen Leuchtern abgeblendet werde, so verschwindet das jenem Leuchter gegenüber befindliche Licht. Und wenn die Blende wieder fortgehoben wird, so kehrt jenes Licht zurück.›

‹Wenn nun der Beobachter den Spalt, welcher von der Tür offensteht, abblendet, und von ihm nur eine kleine Bohrung übrigläßt, und wenn diese Bohrung sich den Leuchtern gegenüber befindet, so wird er auf der Wand der Kammer wieder von einander getrennte Lichterscheinungen finden nach der Anzahl jener Leuchter, und dabei wird jede einzelne von ihnen von dem Ausmaß der Bohrung abhängen›.»[16]

Hierzu bemerkt Schramm unter anderem: «Ibn al-Hayṯham bezeichnet die von ihm beschriebene Vorrichtung als *bayt muẓlim*, dunkle Kammer. Wir haben hier den Ausdruck vor uns, von dem sich schließlich unser Terminus Camera obscura herleitet.»[17] Es dürfte demnach kein Zweifel mehr daran bestehen, daß die bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts in der Geschichtsschreibung der Wissenschaften herrschende Vorstellung von der Erfindung der Camera obscura durch europäische Gelehrte nicht mehr haltbar ist. Deren Bekanntschaft mit Ibn al-Haiṯam's Beschreibung der Camera obscura muß nicht unbedingt durch die ungenaue, möglicherweise im 12. oder 13. Jahrhun-

[11] *Opticæ thesaurus Alhazeni*, Basel 1572.
[12] E. Wiedemann, *Über die Erfindung der Camera obscura*, in: Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 1910, S. 177-182, bes. S. 177 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften*, Bd. 1, S. 443-448, bes. S. 443, und in: Natural Sciences in Islam, Bd. 34, Frankfurt 2001, S. 207-212, bes. S. 207); J. Würschmidt, a.a.O. S. 468; O. Werner, a.a.O. S. 110-111.
[13] *al-Ḥasan b. al-Haiṯam, buḥūṯuhū wa-kušūfuhu l-baṣarīya*, 2 Bde., Kairo 1942-1943 (Nachdr. in: Natural Sciences in Islam, Bd. 35-36, Frankfurt 2001).
[14] *Ibn al-Hayṯhams Weg zur Physik*, Wiesbaden 1963.
[15] Ebd. S. 210, s. *Kitāb al-Manāẓir*, Bd. 1, Kuwait 1983, S. 170-171.
[16] Die von Schramm in Klammern beigegebenen arabischen Begriffe wurden hier weggelassen.

dert entstandene anonyme lateinische Übersetzung des *Kitāb al-Manāẓir*[18] erfolgt sein. Den einen oder anderen jener Gelehrten mag die Kenntnis der Camera obscura aus dem arabisch-islamischen Bereich auch durch andere Quellen oder persönliche Kontakte erreicht haben. Denken wir daran, daß sich zahlreiche Gelehrte des islamischen Kulturkreises auch nach Ibn al-Haiṯam Jahrhunderte lang mit optischen Fragen, darunter auch der Camera obscura, beschäftigt haben,[19] und vergessen wir nicht das hohe Niveau, das die Optik bei Kamāladdīn al-Fārisī, dem Kommentator Ibn al-Haiṯam's, erreicht hat.[20]

Zudem muß man, und das nicht nur in diesem Fall, mit Übersetzungen arabischer, persischer und türkischer Bücher rechnen, die keine weitere Verbreitung fanden, oder auch mit individueller Benutzung solcher Bücher, deren Inhalt einem einzelnen Gelehrten, ganz oder teilweise, durch Vermittlung eines Sprachkundigen bekannt wurde. Der Schreiber dieser Zeilen gewann im Laufe seiner Beschäftigung mit dem Prozess der Rezeption arabisch-islamischer Wissenschaften in Europa den Eindruck, daß viele wichtige Bücher oder auch Landkarten sowie technische und wissenschaftliche Geräte und Instrumente aus der arabisch-islamischen Welt auf diese Art durch persönliche Kontakte Italien erreicht haben, namentlich auch durch eifrige und gezielte Vermittlung geistlicher Gelehrter aus Byzanz vor und nach der Eroberung von Konstantinopel.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß Leonardo da Vinci das *Kitāb al-Manāẓir* von Ibn al-Haiṯam benutzt zu haben scheint, lange bevor die lateinische Übersetzung in der Ausgabe von Risner (1572) zugängig wurde. Der italienische Gelehrte Enrico Narducci[21] wies nach, daß Leonardo eine bereits existierende italienische Übersetzung des Werkes von Ibn al-Haiṯam benutzt haben muß. Otto Werner[22], der Erforscher der Physik Leonardos, ergänzt: «Da nun Leonardo die sogenannte Alhazensche Aufgabe, den Reflexionspunkt bei sphärischen, zylindrischen und konischen Spiegeln zu finden, erwähnt und sich auch bemüht, die Lösung zu geben, ferner auch, wie schon gesagt, die gleichen Angaben über die Sterne, besonders Merkur und Venus bringt wie Ibn al Haiṯam, so ist mit großer Wahrscheinlichkeit zu schließen, daß Leonardo Ibn al Haiṯam gekannt und benutzt hat.»

O. Werner[23] fand überdies Anzeichen dafür, daß Leonardo auch die Optik von Kamāladdīn al-Fārisī, dem Kommentator des Werkes von Ibn al-Haiṯam, gekannt hat. Im Zusammenhang mit der Umkehrung des Bildes, das von einem beleuchteten Gegenstand herrührt, sagt er: «Überraschend ist, wie genau eine Abbildung im Codex Atlanticus auf fol. 238r-b … sich an die von Kamâl al Dîn al Fârisî anschließt. Es scheint danach, als ob dessen Werk im Abendlande bekannt war. Dafür sprechen auch die nahen Beziehungen, die zwischen dem Regenbogentheorem von Theodosius Saxonicus und von Kamâl al Dîn al Fârisî bestehen.»

Man beachte ferner die von O. Werner im Zusammenhang mit der Frage der Camera obscura gewonnene Überzeugung: «Danach dürfte Leonardo entgegen der Ansicht von Müntz die Camera obscura nicht allein in ihren Anfängen, sondern auch in ihrer Entwicklung übernommen und nichts Eigenes hinzugetan haben.»[24]

Unser Modell dient der Vermittlung der Grundprinzipien und der Form der Darstellung der Camera obscura, wie sie aus den Beschreibungen von Ibn al-Haiṯam und Kamāladdīn al-Fārisī hervorgehen. Die Form des Modells ist materieller Ausdruck des von uns gewonnenen Bildes.

[17] M. Schramm, a.a.O. S. 211-212.

[18] s. o. Anm. 11; G. Sarton, *The tradition of the optics of Ibn al-Haitham*, in: Isis 29/1938/403-406 (Nachdruck in: Natural Sciences in Islam, Bd. 34, Frankfurt 2001, S. 69-72).

[19] s. E. Wiedemann, *Arabische Studien über den Regenbogen*, in: Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik 4/1913/453-460 (Nachdruck in: *Gesammelte Schriften*, Bd. 2, S. 745-752 und in: Natural Sciences in Islam, Bd. 34, Frankfurt 2001, S. 165-172).

[20] Josef Würschmidt, *Dietrich von Freiberg: Über den Regenbogen und die durch Strahlen erzeugten Eindrücke*, Münster 1914, S. 2.

[21] *Intorno ad una traduzione italiana fatta nel secolo decimoquarto, del trattato d'ottica d'Alhazen …*, in: Bullettino di bibliografia e di storia delle scienze matematiche e fisiche (Rom) 4/1871/1-48, 137-139 (Nachdruck in: Natural Sciences in Islam, Bd. 34, Frankfurt 2001, S. 1-51); O. Werner, *Zur Physik Leonardo da Vincis*, a.a.O. S. 137.

[22] O. Werner, a.a.O. S. 137.

[23] Ebd. S. 111.

[24] Ebd. S. 111.

Unser Modell:
Messing, fünf Teile, beweglich miteinander vernietet.
Länge: 26 cm.
(Inventar-Nr. D 1.20)

Das

«Problem des Ibn al-Haiṯam»

(Problema Alhazeni)

Der Grund dafür, daß das bekannte optisch-mathematische «Problem des Ibn al-Haiṯam» hier zur Sprache kommt, liegt darin, daß Leonardo da Vinci (1452-1519) ein Gerät zu seiner mechanisch-graphischen Lösung gebaut hat.[1] Im Jahre 1910 äußerte Otto Werner[2] seinen Eindruck, daß Leonardo das große Optikbuch (*Kitāb al-Manāẓir*) von Ibn al-Haiṯam unter seinen Quellen gehabt zu haben scheint und daß er von daher die Aufgabe, den Reflexionspunkt bei sphärischen, zylindrischen und konischen Spiegeln zu finden, kannte und sich um deren Lösung bemühte. Nach Werners Vermutung benutzte Leonardo das Buch von Ibn al-Haiṯam in einer italienischen Übersetzung (s.o.S 186).

[1] *Leonardo da Vinci. Das Lebensbild eines Genies*, Wiesbaden und Berlin: Emil Vollmer 1955, S. 410.
[2] *Zur Physik Leonardo da Vincis*, a.a.O. S. 137.

Bei der im 5. Traktat (*maqāla*) von Ibn al-Haiṯams Buch behandelten Aufgabe handelt es sich darum, auf sphärischen, zylindrischen und konischen, konvexen wie konkaven Spiegeln den Reflexionspunkt zu bestimmen, wenn die beiden Größen «Auge» und «leuchtender Punkt» gegeben sind.[3] «Die Aufgabe in ihrer allgemeinen Form führt analytisch auf eine Gleichung vierten Grades.»[4]
Im Westen hat das Problem bereits Vitello im Jahre 1270 in sein Buch über Optik aufgenommen. Seine ausführliche Behandlung des Themas ist aus der lateinischen Übersetzung des *Kitāb al-Manāẓir* von Ibn al-Haiṯam «abgeschrieben oder umgeschrieben».[5] Nach Leonardo da Vinci war es Isaac Barrow (1669), der sich mit der Aufgabe beschäftigt hat. Anschließend waren René François de Sluse (1673), Christiaan Huyghens (1695), Guillaume François Antoine d'Hospital (1720), Robert Simson (1. Hälfte 18. Jh.), Abraham Gotthelf Kæstner (1719-1800), Thomas Leybourn (1817) und Charles Hutton (1737-1823) um die Lösung der Aufgabe bemüht.[6] Kæstner wollte «das Problem lösen ohne die Construction der Hyperbel, die keinen praktischen Nutzen habe».[7] Fünf Jahre nach Kæstner veröffentlichte William Wales eine Arbeit, «in der das Alhazen'sche Problem als Beispiel verwendet wird für eine Methode, Gleichungen höheren Grades durch Näherung mit Hilfe der trigonometrischen Funktionen zu lösen».[8]

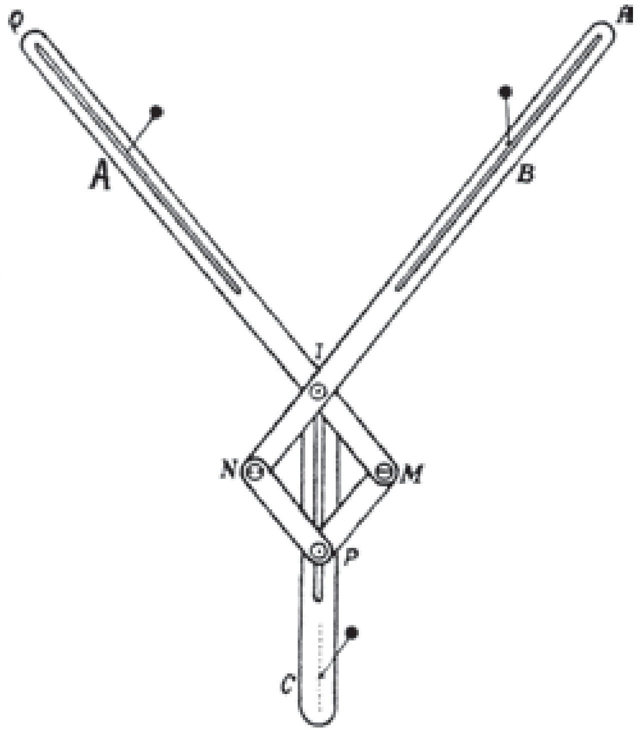


Abb. aus *Leonardo da Vinci. Das Lebensbild eines Genies*, a.a.O., S. 410.

[3] s. Kamāladdīn al-Fārisī, *Tanqīḥ al-manāẓir*, a.a.O. Bd. 1, S. 497 ff.; Muṣṭafā Naẓīf Beg, *al-Ḥasan b. al-Haiṯam*, a.a.O. S. 551 ff.; Paul Bode, *Die Alhazensche Spiegel-Aufgabe in ihrer historischen Entwicklung nebst einer analytischen Lösung des verallgemeinerten Problems*, in: Jahresbericht des Physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main 1891-92 (1893), S. 63-107 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 57, Frankfurt 1998, S. 66-110).

[4] M. Schramm, *Ibn al-Haythams Stellung*, a.a.O. S. 20 a.
[5] P. Bode, *Die Alhazensche Spiegel-Aufgabe*, a.a.O. S. 77-78 (Nachdruck S. 80-81).
[6] Marcus Baker, *Alhazen's Problem. Its Bibliography and an Extension of the Problem*, in: American Journal of Mathematics (Baltimore) 4/1881/327-331 (Nachdruck in: Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 57, Frankfurt 1998, S. 61-65); M. Schramm, *Ibn al-Haythams Stellung*, a.a.O. S. 20 a.
[7] P. Bode, *Die Alhazensche Spiegel-Aufgabe*, a.a.O. S. 81 (Nachdruck S. 84).
[8] Ebd. S. 82 (Nachdruck S. 85).

Literaturverzeichnis und Indices

Literaturverzeichnis

[Abū Naṣr Ibn ʿIrāq, *Risāla fī Maʿrifat al-qusīy al-falakīya baʿḍihā min baʿḍ bi-ṭarīq ġair ṭarīq maʿrifatihā bi-š-šakl al-qaṭṭāʿ wa-n-nisba al-muʾallafa*] *Rasáil Abí Nasr ila'l-Bírúní by Abú Nasr Mansúr b. Ali b. 'Iráq (d. circa 427 A.H.=1036 A.D.). Based on the unique compendium of mathematical and astromical treatises in the Oriental Public Library, Bankipore*, Haidarabad 1948 (Nachdruck *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 28).

Astronomical Instruments in Medieval Spain: their Influence in Europe, [catálogo de la exposición] Santa Cruz de la Palma, junio - julio 1985 [Catálogo ed. Santiago Saavedra], Madrid 1985.

al-Azraqī, *Kitāb Aḫbār Makka. Geschichte und Beschreibung der Stadt Mekka von … el-Azrakí. Nach den Handschriften zu Berlin, Gotha, Leyden, Paris und Petersburg*, ed. Ferdinand Wüstenfeld, Leipzig 1858 (Nachdruck Beirut 1964).

Baker, Marcus, *Alhazen's Problem. Its Bibliography and an Extension of the Problem*, in: American Journal of Mathematics (Baltimore) 4/1881/327-331 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 57, S. 61-65).

Balmer, Heinz, *Beiträge zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus*, Aarau 1956 (Veröffentlichung der Schweizer Gesellschaft für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, Bd. 20).

de Barros, João, *Ásia* [Lissabon 1552], ed. Hernani Cidade und Manuel Múrias, Lissabon 1946, deutsche Übersetzung: Emanuel Feust, *Die Asia des João de Barros in wortgetreuer Übertragung,* Nürnberg 1844 (Nachdruck *The Islamic World in Foreign Travel Accounts* Bd. 53).

Bedini, Silvio A., *The Compartmented Cylindrical Clepsydra,* in: Technology and Culture (Chicago) 3/1962/115-141.

Bión, Nicholas, *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathématique,* Paris 1752.

al-Bīrūnī, *K. Maqālīd ʿilm al-haiʾa. La trigonometrie sphérique chez les Arabes de l'Est à la fin du X^e siècle.* Edition et traduction par Marie-Thérèse Debarnot. Damaskus 1985.

al-Bīrūnī, *K. Taḥdīd nihāyāt al-amākin*, ed. P. Bulgakov und Imām Ibrāhīm Aḥmad, Kairo 1962 (Nachdruck *Islamic Geography* Bd. 25), engl. Übers. udT. *The Determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities. A Translation form the Arabic of al-Bīrūnī's Kitāb Taḥdīd Nihāyāt al-Amākin Litaṣḥīḥ Masāfāt al-Masākin by Jamil Ali*, Beirut 1967 (Nachdruck *Islamic Geography* Bd. 26).

Bittner, Maximilian, *Die topographischen Capitel des indischen Seespiegels Moḥîṭ*. Übersetzt von M. Bittner. Mit einer Einleitung…von Wilhelm Tomaschek, Wien 1897 (Nachdruck in: *Islamic Geography* Bd. 16, S. 129-254).

Björnbo, Axel, *Thabits Werk über den Transversalensatz (liber de figura sectore).* Mit Bemerkungen von Heinrich Suter. Herausgegeben…von H[ans] Bürger und K[arl] Kohl, Erlangen 1924 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 21, S. 215-311).

Bode, Paul, *Die Alhazensche Spiegel-Aufgabe in ihrer historischen Entwicklung nebst einer analytischen Lösung des verallgemeinerten Problems*, in: Jahresbericht des Physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main 1891-92 (1893), S. 63-107 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 57, S. 66-110).

von Braunmühl, Anton, *Nassîr Eddîn Tûsi und Regiomontan*, in: Nova Acta. Abhandlungen der Kaiserlich-Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher (Halle) 71/1897/31-69 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 50, S. 213-251).

von Braunmühl, Anton, *Vorlesungen über Geschichte der Trigonometrie*, 2 Bde., Leipzig 1900.

Breusing, Arthur, *Zur Geschichte der Geographie. 1. Flavio Gioja und der Schiffskompaß*, in: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 4/1869/31-51 (Nachdruck in: Acta Cartographica, Amsterdam, 12/1971/14-34).

Brockelmann, Carl, *Geschichte der arabischen Litteratur*, Bd. 1, Weimar 1898; Bd. 2, Berlin 1902; Supplementbände 1-3, Leiden 1937-1942.

Çamorano [Zamorano], Rodrigo, *Compendio de la arte de navegar,* Sevilla 1581 (Nachdr. Madrid 1973).

Cantor, Moritz, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, 3. Aufl., Bd. 1: *Von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1200 n. Chr.*, Leipzig 1907 (Nachdruck New York und Stuttgart 1965).

Cardano, Geronimo, *De subtilitate libri XXI*, in: Hieronymus Cardanus. Opera omnia. Faksimile-Neudruck der Ausgabe Lyon 1663 mit einer Einleitung von August Buck, Bd. 3, Stuttgart, Bad Cannstatt 1966.

Carra de Vaux, Bernard, *L'Almagest d'Abû'lwéfa Albûzdjâni*, in: Journal Asiatique (Paris), 8^e sér., 19/1892/408-471 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 61, S. 12-75).

Carra de Vaux, Bernard, *Notice sur deux manuscrits arabes*, in: Journal Asiatique (Paris), 8^e sér., 17/1891/287-322.

Casanova, Paul, *La montre du sultan Noûr ad dîn (554 de l'Hégire = 1159-1160)*, in: Syria. Revue d'art oriental et d'archéologie (Paris) 4/1923/282-299 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 88, S. 242-262).

de Caus, Salomon, *Les raisons des forces mouvantes, avec diverses machines, tant utiles que plaisantes, aus quelles sont adjoints plusieurs desseings de grotes et fontaines*, Francfort 1615.

Congreve, H., *A Brief Notice on Some Contrivances Practiced by the Native Mariners of the Coromandal Coast in Navigation, Sailing, and Repairing their Vessels*, in: Gabriel Ferrand, Introduction à l'astronomie nautique arabe, Paris 1928 (Nachdruck Frankfurt a.M. 1986).

Curtze, Maximilian, *Reliquiae Copernicanae*, in: Zeitschrift für Mathematik und Physik (Leipzig) 19/1874/76-82, 432-458.

Dizer, Muammer, *Astronomi hazineleri,* Istanbul 1986.

[Euklid] *Die Elemente von Euklid. Bücher I-XIII*. Aus dem Griechischen übersetzt und herausgegeben von Clemens Thaer, Leipzig 1933-37 (Nachdruck Frankfurt a. M. 1997).

Farré, Eduard, *A Medieval Catalan Clepsydra and Carillon,* in: Antiquarian Horology (Ticehurst, East Sussex) 18/1989/371-380.

Feldhaus, Franz Maria, *Die Technik. Ein Lexikon der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker*. Wiesbaden 1914 (Nachdruck München 1970).

Ferrand, Gabriel, *Introduction à l'astronomie nautique arabe*. Paris 1928 (Nachdruck Frankfurt a. M.: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 1986, Series B – *Geography* Bd. 4, und teilweise in: *Islamic Geography* Bd. 21, S. 112-237).

Fleischer, Heinrich Leberecht, *Über Ibn Loyón's Lehrgedicht vom spanisch-arabischen Land- und Gartenbau*, in: H.L. Fleischer, Kleinere Schriften, Bd. 3, Leipzig 1888, S. 187-198.

Fournier, Georges, *Hydrographie contenant la théorie et la practique des toutes les parties de la navigation,* Paris 1643.

Frank, Josef und Eilhard Wiedemann, *Die Gebetszeiten im Islam*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 58/1925/1-32 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 92, S. 97-128).

García Gómez, Emilio, *Foco de antigua luz sobre la Alhambra desde un texto de Ibn al-Jaṭīb en 1362*, Madrid 1988.

Ǧāwīš, Ḫalīl s. Jaouiche, Khalil.

[al-Ǧazarī] Ibn ar-Razzāz al-Jazarī Badīʿazzamān Abu l-ʿIzz Ismāʿīl b. ar-Razzāz (ca. 600/ 1200), *Al-Jāmiʿ bain al-ʿilm wal-ʿamal an-nāfiʿ fī ṣināʿat al-ḥiyal / Compendium on the Theory and Practice of the Mechanical Arts*. Introduction in Arabic and English by Fuat Sezgin. Frankfurt am Main 2002 [Faksimile-Edition, Hds. İstanbul Ayasofya 3606].

[al-Ǧazarī, *al-Ǧāmiʿ bain al-ʿilm wa-l-ʿamal an-nāfiʿ fī ṣināʿat al-ḥiyal*] Bedi üz-Zaman Ebû'l-Iz Ismail b. ar-Razzaz el Cezerî, *Olağanüstü mekanik araçların bilgisi hakkında kitap / The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices* [Faksimile-Edition, Hds. İstanbul, Topkapı Sarayı, Ahmet III, No. 3472], Ankara: Kültür Bakanlığı 1990.

[al-Ǧazarī, *al-Ǧāmiʿ bain al-ʿilm wa-l-ʿamal an-nāfiʿ fī ṣināʿat al-ḥiyal*] *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices (Kitāb fī maʿrifat al-Ḥiyal al-handasiyya) by Ibn al-Razzāz al-Jazarī,* translated and annotated by Donald R. Hill, Dordrecht 1974.

al-Ḫāzinī, ʿAbdarraḥmān, *Ittiḥād al-ālāt ar-raṣadīya,* Faksimile-Edition reproduced from Istanbul, University Library, A.Y. 314, in: *Manuscript of Arabic Mathematical and Astronomical Treatises,* ed. Fuat Sezgin, Frankfurt a. M.: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 2001, S. 114-166 (Series C - 66).

Hellmann, Gustav, *Meteorologische Optik 1000-1836*, Berlin 1902 (Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus, No. 14).

Hennig, Richard, *Terræ incognitæ. Eine Zusammenstellung und kritische Bewertung der wichtigsten vorcolumbischen Entdeckungsreisen an Hand der darüber vorliegenden Originalberichte*, 4 Bde., Leiden 1944-1956.

Hill, Donald Routledge, *Arabic Water-Clocks*, Aleppo 1981.

Hill, Donald Routledge, *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices*, s. al-Ǧazarī

Hill, Donald Routledge, *On the Construction of Water-Clocks. An Annotated Translation from Arabic Manuscripts of the Pseudo-Archimedes Treatise*, London 1976 (Occasional Paper - Turner&Devereux. No. 4).

Hogendijk, Jan P., *Greek and Arabic Constructions of the Regular Heptagon*, in: Archive for History of Exact Sciences (Berlin) 30/1984/197-330.

Horten, Max, *Avicennas Lehre vom Regenbogen nach seinem Werk al Schifâ. Mit Bemerkungen von E. Wiedemann*, in: Meteorologische Zeitschrift (Braunschweig) 30/1913/533-544 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 2, S. 733-744).

Hourani, George Fadlo, *Arab seafaring in the Indian Ocean in ancient and early medieval times*, Princeton 1951.

Ibel, Thomas, *Die Wage im Altertum und Mittelalter*, Erlangen 1908 (Nachdruck in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 45, S. 1-192).

Ibn Faḍlallāh al-ʿUmarī, *Masālik al-abṣār fī mamālik al-amṣār / Routes toward Insight into the Capital Empires*. Faksimile-Edition Fuat Sezgin, Bde. 1-27, Frankfurt a. M.: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 1988-1989 (Series C - 46,1-27), *Indices,* 3 Bde., ebd. 2001 (Series C - 46, 28-30).

[Ibn al-Haiṯam] *Ibn al-Haytham (d. c. 432/1040): Kitāb fī Ḥall šukūk kitāb Uqlīdis fī'l-Uṣūl wa-šarḥ maʿānīhi / On the Resolutions of Doubts in Euclid's Elements and Interpretation of Its Special Meanings,* Faksimile-Edition Matthias Schramm, Frankfurt a.M.: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 1985 (Series C - 11).

Ibn al-Haiṯam, *Maqāla fī ḍau' al-qamar,* ed. in: *Maǧmūʿ ar-rasā'il li-l-Ḥasan b. al-Ḥasan Ibn al-Haiṯam,* Haidarabad 1357/1939 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 75, 8. Text).

Ibn al-Ḫaṭīb, *al-Iḥāṭa fī aḫbār Ġarnāṭa*, ed. Muḥammad ʿAbdallāh ʿInān, 3 Bde., Kairo 1973-75.

Ibn al-Ḫaṭīb, *Nufāḍat al-ǧirāb fī ʿalāqat al-iġtirāb*, Teil 3, ed. as-Saʿdīya Fāġiya, Rabat 1989; spanische Übersetzung s. García Gómez, Emilio.

[Ibn Muʿāḏ, *Kitāb Maǧhūlāt qusī al-kura*] *La trigonometría europea en el siglo XI. Estudio de la obra de Ibn Muʿāḏ, El Kitāb mayhūlāt* [Edition, Faksimile, spanische Übersetzung und Kommentar] Maria Victoria Villuendas, Barcelona 1979.

Ibn an-Nadīm, *Kitāb al-Fihrist,* ed. Gustav Flügel, Leipzig 1872.

[Ibn ar-Raqqām] *Risāla fī ʿilm al-ẓilāl de Muḥammad Ibn al-Raqqām al-Andalusī,* edición, traducción y comentario por Joan Carandell, Barcelona 1988.

Ibn Sīnā, *aš-Šifā'. aṭ-Ṭabīʿīyāt* 5: *al-Maʿādin wa-l-āṯār al-ʿulwīya*, eds. Ibrāhīm Madkūr u.a., Kairo 1965.

Instrumentos de navegación: Del Mediterráneo al Pacífico [Catálogo ed. Manuel Sellés], Barcelona 1994 (Collection Ciencia y mar).

Islamic Geography, Bd. 1-278, Frankfurt am Main: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 1992-1998.

Islamic Mathematics and Astronomy, Bd. 1-112, Frankfurt am Main: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 1997-2002.

The Islamic World in Foreign Travel Accounts, Bd. 1-79, Frankfurt am Main: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 1994-1997.

Janin, Louis und David A. King, *Le cadran solaire de la mosquée d'Ibn Ṭūlūn au Caire*, in: Art and architecture research papers (London) 15/1979/331-357.

Janin, Louis, *Le cadran solaire de la Mosquée Umayyade à Damas*, in: Centaurus (Kopenhagen) 16/1972/285-298.

Jaouiche, Khalil [d.i. Ḫalīl Ǧāwīš], *Naẓarīyat al-mutawāziyāt fi l-handasa al-islāmīya*, Tunis 1988.

Jaouiche, Khalil, *On the Fecundity of Mathematics from Omar Khayyam to G. Saccheri*, in: Diogenes (Oxford) 57/1967/83-100.

Jaouiche, Khalil, *La théorie des parallèles en pays d'Islam. Contribution à la préhistoire des géométries non-euclidiennes*, Paris 1986.

Juschkewitsch, Adolf P., *Geschichte der Mathematik im Mittelalter*, Leipzig und Basel 1964.

Juschkewitsch, Adolf P. und Boris A. Rosenfeld, *Die Mathematik der Länder des Ostens im Mittelalter*, Berlin 1963.

Kennedy, Edward S. und Walid Ukashah, *The Chandelier Clock of Ibn Yūnis*, in: Isis (Washington) 60/1969/543-545.

Kennedy, Edward S., *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Taḥdīd al-Amākin*, Beirut 1973 (Nachdruck *Islamic Geography* Bd. 27).

King, David A., *A Survey of the Scientific Manuscripts in the Egyptian National Library*, Winona Lake (Indiana) 1986.

Kohl, Karl, *«Über das Licht des Mondes». Eine Untersuchung von Ibn al-Haitham*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 56-57/1924-25 (1926)/305-398 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 58, S. 135-228).

Kohl, Karl, *Zur Geschichte der Dreiteilung des Winkels*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 54-55/1922-23/180-189 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 76, S. 151-160).

Kračkovskij, Ignatij, *Istoria arabskoi geografičeskoi literaturi*, Moskau 1957.

Kraus, Paul, *Jābir ibn Ḥayyān. Contribution à l'histoire des idées scientifiques dans l'Islam*, 2 Bde., Kairo 1942-43 (Nachdruck *Natural Sciences in Islam* Bd. 67-68).

Krause, Max, *Al-Biruni. Ein iranischer Forscher des Mittelalters*, in: Der Islam (Berlin) 26/1942/1-15 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 36, S. 1-15).

Krebs, Engelbert, *Meister Dietrich (Theodoricus Teutonicus de Vriberg), sein Leben, seine Werke, seine Wissenschaft,* Münster 1906 (Beiträge zur Geschichte der Philosophie des Mittelalters, Bd. 5, Heft 5/6).

Küçükerman, Önder, *Maden Döküm Sanatı*, İstanbul 1994.

Kutta, Wilhelm Martin, *Zur Geschichte der Geometrie mit constanter Zirkelöffnung,* in: Nova Acta. Abhandlungen der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher (Halle) 71/1897/69-104 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 61, S. 235-270).

Landström, Björn, *Segelschiffe. Von den Papyrusbooten bis zu den Vollschiffen in Wort und Bild,* Gütersloh 1970.

Leonardo da Vinci. Das Lebensbild eines Genies. Deutsche Übersetzung aus dem Italienischen von Kurt Karl Eberlein, Wiesbaden und Berlin 1955.

Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso X. de Castilla, compilados, anotados y comentados por Manuel Rico y Sinobas, Bde. 1-5,1, Madrid 1863-1867 (Nachdr. in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 109-112).

Lippincott, Kristen, *The Story of Time,* London 1999.

Lorch, Richard, *Thābit ibn Qurra. On the Sector-Figure and Related Texts. Edited with Translation and Commentary*, Frankfurt 2001 (*Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 108).

Luckey, Paul, *Beiträge zur Erforschung der arabischen Mathematik*, in: Orientalia (Rom) N.S. 17/1948/490-510 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 96, S. 46-66).

Luckey, Paul, *Zur Entstehung der Kugeldreiecksrechnung*, in: Deutsche Mathematik (Leipzig) 5/1940/405-446 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 77, S. 137-178).

Lübke, Anton, *Die Uhr. Von der Sonnenuhr zur Atomuhr*, Düsseldorf 1958.

Maddison, Francis, Bryan Scott und Alan Kent, *An Early Medieval Water-Clock*, in: Antiquarian Horology (Ticehurst, East Sussex) 3/1962/348-353.

Manuscript of Arabic Mathematical and Astronomical Treatises, ed. Fuat Sezgin, Frankfurt a.M.: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 2001 (Series C - 66).

[al-Marrākušī, *Ǧāmiʿ al-mabādiʾ wa-l-ġāyāt fī ʿilm al-mīqāt*] al-Ḥasan ibn ʿAlī (ʿAlī ibn al-Ḥasan?) al-Marrākushī (7th/13th cent.), *Jāmiʿ al-mabādiʾ wa'l-ghāyāt fī ʿilm al-mīqāt / Comprehensive Collection of Principles and Objectives in the Science of Timekeeping*, Faksimile-Edition Fuat Sezgin, 2 Bde., Frankfurt a.M.: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 1984 (Series C - 1, 1-2).

Miller, Konrad, *Mappæ Arabicæ*, 6 Bde., Stuttgart 1926-1931 (Nachdruck *Islamic Geography* Bde. 240-241).

Minorsky, Vladimir, *Tamīm b. Baḥr's Journey to the Uyghurs*, in: Bulletin of the School of Oriental and African Studies (London) 12/1947-48/275-305.

Miquel, André, *La géographie humaine du monde musulman jusqu'au milieu du 11e siècle*. Bd. 1: *Géographie et géographie humaine dans la littérature arabe,* Paris 1967.

Montucla, Jean-Étienne, *Histoire des mathématiques*, 2 Bde., Paris 1758.

Naffah, Christiane, *Un cadran cylindrique ottoman du XVIIIème siècle*, in: Astrolabica (Paris) 5/1989/37-51.

Narducci, Enrico, *Intorno ad una traduzione italiana fatta nell'anno 1341 di una compilazione astronomica di Alfonso X. re di Castiglia*, Rom 1865 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 98, S. 5-36).

Narducci, Enrico, *Intorno ad una traduzione italiana fatta nel secolo decimoquarto, del trattato d'ottica d'Alhazen, matematico del secolo undecimo, e ad altri lavori di questo scienziato*, in: Bullettino di bibliografia e di storia delle scienze matematiche e fisiche (Rom) 4/1871/1-48, 137-139 (Nachdruck in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 34, S. 1-51).

[Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī] *A collection of mathematical and astronomical treatises as revised by Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī,* 2 Bde., Haidarabad 1940 (Nachdruck *Islamic Mathematics and Astronomy* Bde. 48-49).

[Naṣīraddīn aṭ-Ṭūsī, *K. aš-Šakl al-qaṭṭāʿ*] *Traité du Quadrilatère, attribué à Nassiruddin-El-Toussy*, ed. et traduit par Alexandre Pacha Carathéodory. İstanbul 1891 (Nachdruck *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 47).

Natural Sciences in Islam, Bde. 1-90, Frankfurt am Main: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 2000-2003.

Naẓīf Beg, Muṣṭafā, *al-Ḥasan b. al-Haiṯam. Buḥūṯuhū wa-kušūfuhu l-baṣarīya*, 2 Bde., Kairo 1361/1942. (Nachdruck *Natural Sciences in Islam* Bde. 35-36).

La navegació en els velers de la carrera d'Amèrica [Katalog], Barcelona: Museu Marítim o.J. [1988].

Nordenskiöld, Adolf Erik, *Periplus. An Essay on the Early History of Charts and Sailing-Directions*, Stockholm 1897.

an-Nuʿaimī, ʿAbdalqādir b. Muḥammad, *ad-Dāris fī ta'rīḫ al-madāris*, ed. Ǧaʿfar al-Ḥasanī, 2 Bde., Damaskus 1948-51.

Olearius, Adam, *Vermehrte newe Beschreibung der muscovitischen und persischen Reyse ...* Schleszwig 1656 (Nachdruck hrsg. von Dieter Lohmeier, Tübingen 1971 und *The Islamic World in Foreign Travel Accounts* Bd. 3-4).

Osorius, Hieronymus [Osório, Jerónimo], *De rebus Emmanuelis regis Lusitaniae invictissimi virtute et auspicio annis sex, ac viginti, domi forisque gestis, libri XII,* Köln 1574.

Paris, Pierre, *Voile latine? Voile arabe? Voile mysterieuse,* in: Hespéris (Paris) 36/1949/69-96.

Picard, Christophe, *L'océan Atlantique musulman. De la conquête arabe à l'époque almohade*, Paris 1997.

Piri Reis and Turkish Mapmaking after Columbus. The Khalili Portolan Atlas by Svat Soucek, London 1996 (Studies in the Khalili Collection, vol. 2).

Price, Derek John DeSolla, *Mechanical Water Clocks of the 14th Century in Fes, Morocco,* in: Proceedings of the 10th International Congress of the History of Sciences, Ithaka, 26 VIII - 2 IX 1962, Paris 1964 (Sonderdruck 8 S.).

Price, Derek John DeSolla, *On the Origin of Clockwork, Perpetual Motion Devices, and the Compass*, in: Contributions from the Museum of History and Technology, Washington 1959, S. 82-112.

[Ptolemaios, *Almagest*] *Ptolemäus, Handbuch der Astronomie*, deutsche Übers. Karl Manitius, 2 Bde., Leipzig 1912-13 (Bibliotheca Scriptorum Græcorum et Romanorum Teubneriana), Neuausgabe Leipzig 1963.

Rashed, Roshdi, *La construction de l'heptagone régulier par Ibn-al-Haytham*, in: Journal for the History of Arabic Science (Aleppo) 3/1979/309-387.

Rashed, Roshdi, *Géométrie et dioptrique au X^e^ siècle. Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham*, Paris 1993.

Rashed, Roshdi, *Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī: Oeuvres mathématiques. Algèbre et géométrie au XII^e^ siècle*, 2 Bde., Paris 1986.

Reinaud, Joseph-Toussaint, *Géographie d'Aboulféda*, Bd. 1: *Introduction générale*, Bd. 2: *Traduction du texte arabe et index général*. Paris 1848-1883 (Nachdruck *Islamic Geography* Bd. 277-278).

Risner, Friedrich, *Opticae thesaurus. Alhazeni Arabis libri septem, nunc primum editi*, Basel 1572 (Facs. Reprint ed. David C. Lindbergh, New York 1972).

Rose, Paul L., *Renaissance Italian Methods of drawing the Ellipse and related Curves,* in: Physis (Firenze) 12/1970/371-404.

Samplonius, Yvonne, *Die Konstruktion des regelmäßigen Siebenecks nach Abu Sahl al-Qûhî Waiğan ibn Rustam*, in: Janus (Leiden) 50/1963/227-249.

Samsó, Julio, *Las ciencias de los antiguos en al-Andalus*, Madrid 1992.

Sarton, George, *The tradition of the optics of Ibn al-Haitham*, in: Isis (Brüssel) 29/1938/403-406 (Nachdruck in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 34, S. 69-72).

de Saussure, Léopold, *Commentaire des Instructions nautiques de Ibn Mājid et Sulaymān al-Mahrī*, in: Gabriel Ferrand, Introduction à l'astronomie nautique arabe, Paris 1928, S. 129-175 (Nachdruck in: *Islamic Geography* Bd. 21, S. 191-237).

Schmidt, Fritz, *Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter*, Erlangen 1929 (Nachdruck *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 89).

Schoy, Carl, *Abhandlung des al-Ḥasan ibn al-Ḥasan ibn al-Haiṯam (Alhazen) über die Bestimmung der Richtung der Qibla*, in: Zeitschrift der Deutschen Morgenländischen Gesellschaft (Leipzig) 75/1921/242-253 (Nachdruck in: *Islamic Geography* Bd. 18, S. 155-166).

Schoy, Carl, *Abhandlung von al-Faḍl b. Ḥâtim an-Nairîzî: Über die Richtung der Qibla*, in: Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-physikalische Klasse (München) 1922, S. 55-68 (Nachdruck in: *Islamic Geography* Bd. 18, S. 177-190).

Schoy, Carl, *Über den Gnomonschatten und die Schattentafeln der arabischen Astronomie. Ein Beitrag zur arabischen Trigonometrie nach unedierten arabischen Handschriften*, Hannover 1923 (Nachdruck in: *Arabic Mathematics and Astronomy* Bd. 25, S. 187-215).

Schramm, Matthias, *Ibn al-Haythams Stellung in der Geschichte der Wissenschaften*, in: Fikrun wa Fann (Hamburg) 6/1965/Separatdruck S. 2-22, arab. Teil S. 85-65.

Schramm, Matthias, *Ibn al-Hayṯams Weg zur Physik*, Wiesbaden 1963 (Boethius, Texte und Abhandlungen zur Geschichte der exakten Wissenschaften, 1).

Schramm, Matthias, *Steps towards the Idea of Function. A Comparison between Eastern and Western Science of the Middle Ages*, in: History of Science (Cambridge) 4/1965/70-103.

Schramm, Matthias, *Verfahren arabischer Nautiker zur Messung von Distanzen im Indischen Ozean*, in: Zeitschrift für Geschichte der arabisch-islamischen Wissenschaften (Frankfurt) 13/1999-2000/1-55.

Sédillot, Louis-Amélie und Jean-Jacques Sédillot, *Traité des instruments astronomiques des Arabes composé au treizième siècle par Abu l-Ḥasan ʿAlī al-Marrākushī (VII/XIII s.) intitulé Jāmiʿ al-mabādiʾ wa-l-ghāyāt*. Partiellement traduit par J.-J. Sédillot et publié par L.-A. Sédillot, 2 Bde., Paris 1834-35 (Nachdruck *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 41).

Seemann, Hugo J., *Die Instrumente der Sternwarte zu Marâgha nach den Mitteilungen von al-ʿUrḍî*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät zu Erlangen 60/1928/15-126 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 51, S. 81-192).

Sezgin, Fuat, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Bde. 10-12: *Mathematische Geographie und Kartographie im Islam und ihr Fortleben im Abendland,* Frankfurt a.M.: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 2000.

Sleeswyk, André Wegener, *Archimedisch: de Mijlenteller en de Waterklok,* in: Natuurkundige Voordrachtem (s'Gravenhage) Nieuwe Reeks 67/1988-1989/15-31.

Smith, David E., *Euclid, Omar Khayyâm and Saccheri*, in: Scripta Mathematica (New York) 2/1935/5-10.

Sprenger, Alois, *Die Post- und Reiserouten des Orients*, Leipzig 1864 (Nachdruck *Islamic Geography* Bd. 112).

Studies on Ibn Ğubair (d. 1217). Collected and Reprinted, ed. Fuat Sezgin et al., Frankfurt 1994 (*Islamic Geography* Bd. 173).

Studies on Ibrāhīm ibn Yaʿqūb (2^nd^ half 10^th^ century) and on his account of Eastern Europe. Collected and Reprinted, ed. Fuat Sezgin et al., Frankfurt 1994 (*Islamic Geography* Bd. 159).

Studies on the Travel Accounts of Ibn Faḍlān (1^st^ half 10^th^ cent.) and Abū Dulaf (1^st^ half 10^th^ cent.). Collected and Reprinted, ed. Fuat Sezgin et al., Frankfurt 1994 (*Islamic Geography* Bd. 169).

Studies on the Travel Accounts of Sallām at-Tarğumān (before 864), Hārūn b. Yaḥyā (fl. about 912) and as-Sindibād al-Baḥrī (fl. about 912). Collected and Reprinted, ed. Fuat Sezgin et al., Frankfurt 1994 (*Islamic Geography* Bd. 166).

Suter, Heinrich, *Die Mathematiker und Astronomen der Araber und ihre Werke*, Leipzig 1900 (Nachdr. in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 82, S. 1-288).

Suter, Heinrich, *Über die Geometrie der Söhne des Mûsâ ben Schâkir*, in: Bibliotheca Mathematica (Stockholm) 3. Folge, 3/1902/259-272 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 76, S. 137-150).

Tannery, Paul, *Eutocius et ses contemporains*, in: P. Tannery, Mémoires scientifiques Bd. 2, Paris 1912, S. 118-136.

Tekeli, Sevim, *16'ıncı asırda Osmanlılarda saat ve Takiyüddin'in «Mekanik saat konstrüksüyonuna dair en parlak yıldızlar» adlı eseri*, Ankara 1966.

Tekeli, Sevim, *Takiyüddin'in Sidret ül-Müntehâ'sında aletler bahsi*, in: Belleten (Ankara) 25/1961/213-238.

Tomaschek, Wilhelm, *Die topographischen Capitel des indischen Seespiegels Moḥîṭ*, s. Bittner, Max.

The Travels of Ibn Jubayr. Edited from a ms. in the University Library of Leyden by William Wright. Second Edition revised by M[ichael] J[an] de Goeje. Leiden, London 1907 (Nachdr. *Islamic Geography* Bd. 171).

Tropfke, Johannes, *Geschichte der Elementar-Mathematik*, Bd. 3. *Proportionen, Gleichungen.* 3. Aufl. Berlin und Leipzig 1937.

Tropfke, Johannes, *Geschichte der Elementar-Mathematik*, Bd. 4. *Ebene Geometrie.* 2. Aufl. Berlin und Leipzig 1923.

Tropfke, Johannes, *Geschichte der Elementar-Mathematik*, Bd. 5. *I. Ebene Trigonometrie. II. Sphärik und sphärische Trigonometrie.* 2. Aufl. Berlin und Leipzig 1923.

Velho, Álvaro, *Roteiro da primeira viagem de Vasco da Gama (1497-1499). Préfacio, notas e anexos por Abel Fontoura da Costa.* Lissabon 1940.

Wallis, John, *Opera mathematica*, Bde. 1-3, Oxford 1693-1699 (Nachdr. Hildesheim 1972).

Wegener, Alfred, *Die astronomischen Werke Alfons X.*, in: Bibliotheca Mathematica (Leipig) 3.F., 6/1905/129-185 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 98, S. 57-113).

Die Welt als Uhr. Deutsche Uhren und Automaten 1550-1650, ed. Klaus Maurice und Otto Mayr, München 1980.

Werner, Otto, *Zur Physik Leonardo da Vincis,* Diss. Erlangen 1910.

Wiedemann, Eilhard, *Arabische Studien über den Regenbogen*, in: Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik (Leiupzig) 4/1913/453-460 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 2, S. 745-752 und in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 34, S. 165-172).

Wiedemann, Eilhard, *Astronomische Instrumente* (*Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, XVIII,1*), in: Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 41/1909/26-46 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte* Bd. 1, S. 544-564).

Wiedemann, Eilhard, *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte*, ed. Wolfdietrich Fischer, Bd. 1-2, Hildesheim 1970.

Wiedemann, Eilhard unter Mitwirkung von Theodor W. Juynboll, *Avicennas Schrift über ein von ihm ersonnenes Beobachtungsinstrument*, in: Acta orientalia (Leiden) 5/1926/81-167 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 2, S. 1117-1203 und in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 92, S. 137-223).

Wiedemann, Eilhard, *Die Gebetszeiten im Islam*, s. Frank, Josef.

Wiedemann, Eilhard, *Gesammelte Schriften zur arabisch-islamischen Wissenschaftsgeschichte,* ed. Dorothea Girke und Dieter Bischoff, 3 Bde., Frankfurt a.M.: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 1984 (Series B - 1,1-3).

Wiedemann, Eilhard, *Ibn al Schâṭir, ein arabischer Astronom aus dem 14. Jahrhundert*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät zu Erlangen 60/1928/317-326 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte* Bd. 2, S. 729-738).

Wiedemann, Eilhard, *Theorie des Regenbogens von Ibn al Haiṯam* (*Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, 38*), in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 46/1914 (1915)/39-56 (Nachdruck in: *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte* Bd. 2, S. 69-86, und in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 33, S. 219-236).

Wiedemann, Eilhard, *Über den Apparat zur Untersuchung und Brechung des Lichtes von Ibn al Haiṯam*, in: Annalen der Physik und Chemie (Leipzig) N.F. 21/1884/541-544 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 1, S. 33-36 und in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 33, S. 111-114).

Wiedemann, Eilhard, *Über das Sehen durch eine Kugel bei den Arabern*, in: Annalen der Physik und Chemie (Leipzig) N.F. 39/1890/565-576 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 1, S. 47-58 und in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 34, S. 195-206).

Wiedemann, Eilhard, *Über die Brechung des Lichtes in Kugeln nach Ibn al Haiṯam und Kamâl al Dîn al Fârisî*, in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 42/1910/15-58 (Nachdruck in: *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte* Bd. 1, S. 597-640, und in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 34, S. 213-256).

Wiedemann, *Über die Erfindung der Camera obscura*, in: Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (Braunschweig) 12,4/1910/177-182

(Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 1, S. 443-448 und in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 34, S. 207-212).

Wiedemann, Eilhard, *Über die Konstruktion der Ellipse,* in: Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht (Leipzig und Berlin) 50/1919/177-181 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 2, S. 914-918).

Wiedemann, Eilhard und Fritz Hauser, *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur*, in: Nova Acta. Abhandlungen der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle 100/1915/1-272 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 3, S. 1211-1482).

Wiedemann, Eilhard, *Über eine astronomische Schrift von al-Kindî* (*Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, XXI.1*), in: Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 42/1910/294-300 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte* Bd. 1, S. 660-666).

Wiedemann, Eilhard, *Ueber geometrische Instrumente bei den muslimischen Völkern,* 1. *Ueber den Zirkel für den grossen Kreis,* 2. *Ueber eine Art von Transporteuren nach al Gazarî*, 3. *Ueber Zirkel zum Zeichnen von Kegelschnitten,* in: Zeitschrift für Vermessungswesen (Stuttgart) 39/1910/585-592, 617-625 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 1, S. 417-433).

Wiedemann, Eilhard und Fritz Hauser, *Uhr des Archimedes und zwei andere Vorrichtungen*, in: Nova Acta. Abhandlungen der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle 103/1918/163-203 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 3, S. 1629-1668).

Wiedemann, Eilhard und Josef Frank, *Vorrichtungen zur Teilung von Kreisen und Geraden usw. nach Bîrûnî*, in: Zeitschrift für Instrumentenkunde (Berlin) 41/1921/225-236 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 34, S. 233-244).

Wiedemann, Eilhard, *Zu Ibn al Haiṯams Optik*, in: Archiv für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik (Leipzig) 3/1911-12/1-53 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 1, S. 541-593, bes. S. 569-570, und in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 33, S. 165-217).

Wiedemann, Eilhard, *Zur Geschichte der Brennspiegel*, in: Annalen der Physik (Leipzig) 39/1890/110-130 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften zur arabisch-islamischen Wissenschaftsgeschichte* Bd. 1, S. 59-79).

Wiedemann, Eilhard, *Zur Optik von Kamâl al Dîn*, in: Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik (Leipzig) 3/1911-12/161-177 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Gesammelte Schriften* Bd. 1, S. 596-612 und in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 34, S. 263-279).

Wiedemann, Eilhard, *Zur Technik bei den Arabern* (*Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, 10*), in: Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen) 36/1906/307-357 (Nachdruck in: E. Wiedemann, *Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte* Bd. 1, S. 272-322).

Woepcke, Franz, *L'algèbre d'Omar Alkhayyâmî*, Paris 1851 (Nachdruck in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 45, S. 1-206).

Woepcke, Franz, *Études sur les mathématiques arabo-islamiques. Nachdruck von Schriften aus den Jahren 1842-1874,* ed. Fuat Sezgin, 2 Bde., Frankfurt 1986 (Series B - *Mathematik* 2,1-2).

Woepcke, Franz, *Trois traités arabes sur le compas parfait, publiés et traduits*, in: Notices et extraits des manuscrits de la Bibliothèque impériale (Paris) 22/1874/1-175 (Nachdruck in: F. Woepcke, *Études sur les mathématiques arabo-islamiques* Bd. 2, S. 560-734 und in: *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 66, S. 33-209).

Würschmidt, Joseph, *Dietrich von Freiberg*: *Über den Regenbogen und die durch Strahlen erzeugten Eindrücke*, Münster 1914.

Würschmidt, Joseph, *Über die Brennkugel*, in: Monatshefte für den naturwissenschaftlichen Unterricht aller Schulgattungen (Leipzig und Berlin) 4/1911/98-113 (Nachdruck in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 34, S. 280-295).

Würschmidt, Joseph, *Zur Geschichte, Theorie und Praxis der Camera obscura*, in: Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht (Leipzig und Berlin) 46/1915/466-476 (Nachdruck in: *Natural Sciences in Islam* Bd. 32, S. 20-30).

Yāqūt al-Ḥamawī, *Iršād al-arīb ilā maʿrifat al-adīb*, ed. David Samuel Margoliouth, 7 Bde., London 1923-1931.

Index

I. Personennamen

A – ʿA

B

C

I

J

K

L

M

N

O

P

U – ʿU

V

W

Y

Z

II. Sachbegriffe und Ortsnamen

A

E

F

G – Ǧ

H – Ḥ – Ḫ

I – ʿI

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S – Š

T – Ṯ

U

V

W

Z

III. Büchertitel

A – ʿA

B

C

D

E

F

G – Ǧ

H – Ḥ

I – ʿI

K

L

M

N

O

Q

R

S – Š – Ṣ

T – Ṭ

U – ʿU

V

W

Z